

Sanni Leimi

GEOMETRIAVIRHEET NOPEAN RAUTATIELIIKENTEN VAIHTEISSA

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
Tammikuu 2020

TIIVISTELMÄ

Sanni Leimi: Geometriavirheet nopean rautatieliikenteen vaihteissa
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Tammikuu 2020

Liikennöitävä ja turvallinen rautatiejärjestelmä edellyttää rautateiden asianmukaista kuntoa. Tämän mahdollistaa aktiivinen kunnossapito, jonka yhtenä tehtävänä on paikantaa ja korjata raiteissa esiintyviä geometriavirheitä. Nopeilla rataosuuksilla (suunnittelunopeus 160–220 km/h) kunnossapitotarve on suuri, ja raiderakenteiden geometrinen kunto heikkenee nopeasti.

Tässä työssä tutkittiin nopeiden rataosuuksien vaihteissa esiintyviä geometriavirheitä. Aineistona käytettiin radantarkastusvaunu Ttr1 51:n (EMMA) vaihteiden tarkastuksen tuloksena tulostuneita rataosakohtaisia kilometriyhteenvetoja, eli vaihdeyhteenvetoja. Aineistoa käsiteltiin ja analysoitiin Excel-ohjelman avulla. Työssä pyrittiin selvittämään nopeiden rataosuuksien vaihteiden yleisimpiä geometriavirhetyppejä, geometriavirheiden vaihdekohtaista käyttäytymistä, geometriavirheiden kehitystä pitkällä aikavälillä, vaihteen asennusvuoden vaikutusta virheiden vuosikeskiarvoon sekä mahdollisia eroavaisuuksia kahden eri kunnossapitoalueen vaihteiden välillä.

Aineistoa tarkastelemalla saatiin monenlaisia tuloksia. Tarkastelualueen yleisin virhetyyppi oli korkeuspoikkeama, jota oli kummankin kiskon korkeuspoikkeamat mukaan luettuna yli 50 % kokonaisvirhemäärästä. Rataosakohtaisen tarkastelun perusteella tietyt vaihteet ovat jatkuvasti huonossa kunnossa, kun taas joissakin vaihteissa ei tarkastelu aikana esiintynyt yhtään virheitä. Pitkän aikavälin tarkastelu tuki samaa huomiota. Vaihteiden ikä ei korreloinut suoraan virheiden lukumäärän kanssa. Kunnossapitoalueiden välillä oli eroavaisuuksia sekä virheiden kasvunopeuden, että virheisiin reagoinnin välillä.

Avainsanat: Ratageometria, ratageometriavirheet, vaihteiden kunnossapito

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Sanni Leimi: Track geometry faults on fast traffic railway switches
Bachelors Thesis
Tampere University
Bachelor's Degree Program at Civil Engineering
January 2020

Safe and operable railway system requires its structures to be in proper condition. This is enabled by active maintenance. Major part of maintaining railways' condition is to locate and repair track geometry faults. On railway sections with high speed traffic, the need for repairing actions is high and the geometric condition of rails decreases fast.

This thesis is an analysis about geometric faults on fast traffic railway switches. The data used in this research is collected by track measuring vehicle Ttr1 51 during track inspection. Data was analyzed with Excel. The objective of this thesis was to find the most common types of geometry faults in chosen railway section, examine performance of geometry faults on switches long term and short term, find possible correlations between the age of switches' and the number of geometric faults and look for differences between switches' conditions on two separate maintenance areas.

Researching this topic led to various results. Most common types of geometry faults on researched railway section were inaccuracies on switches' longitudinal level. Some switches remain in bad condition for a long time while other switches have no geometry faults at all. This phenomenon occurred both long term and short term. Geometry faults didn't correlate with the age of the chosen switches. Differences between two maintenance areas were found regarding the growth rate of faults and the time until repairing them.

Keywords: Track geometry, track geometry faults

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|----|
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 2. RADAN GEOMETRIA JA KUNNOSSAPITO | 3 |
| 2.1 Ratageometrian mittaus radantarkastusvaunulla | 3 |
| 2.2 Kunnossapitotasot ja kunnossapitoalueet | 4 |
| 2.3 Ratageometriasuureet | 8 |
| 2.4 Virheluokat | 11 |
| 3. TUTKIMUSMENETELMÄT | 13 |
| 4. VAIHDEYHTEENVETOJEN TARKASTELU | 15 |
| 4.1 Tarkastelualueen yleisimmät virhetyypit | 15 |
| 4.2 Rataosakohtainen tarkastelu | 16 |
| 4.2.1 Helsinki–Tikkurila | 16 |
| 4.2.2 Tikkurila–Riihimäki | 18 |
| 4.2.3 Riihimäki–Tampere | 21 |
| 4.3 Pitkän aikavälin tarkastelu | 25 |
| 4.4 Vaihteiden asennusvuoden vaikutus | 27 |
| 4.5 Kunnossapitoalueiden väliset eroavaisuudet | 27 |
| 5. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT | 31 |
| LÄHTEET | 33 |

1. JOHDANTO

Rautatiejärjestelmä koostuu rataverkosta sekä siihen liittyvistä rakennuksista, järjestelmistä, laitteista sekä rataverkolla liikkuvasta kalustosta (Liikennevirasto 2018, s. 6). Suomen liikennöidyn rataverkon pituus vuoden 2016 lopussa oli 5 926 kilometriä (Väylävirasto 2019a). Rataverkon haltijana toimii Väylävirasto, joka vastaa myös rataverkon ylläpitämisestä ja kehittämisestä (Väylävirasto 2019b, s. 15). Rataverkosta 11 % kuuluu keskeisiin reitteihin, joissa henkilöliikenteen suunnittelunopeus on 160–200 km/h (Ratahallintokeskus 2006b, s. 33). Suomessa ei ole erillisiä ratoja henkilö- ja tavaraliikenteelle, joten nopean liikenteen radoilla liikennöi myös henkilöliikennettä raskaampia tavarajunia (Meriläinen 2009, s. 10).

Nopea henkilöliikenne yhdessä raskaan tavaraliikenteen kanssa kuluttaa ratarakenteita ja luo haasteita rautatieverkon kunnossapitoon. Ratarakenne kuluu näillä nopeilla rataosuuksilla nopeasti ja luo tarvetta aktiiviselle kunnossapidolle. Vuosittain yksityisiltä palveluntuottajilta ostettaviin rautateiden kunnossapitotöihin käytetään rahaa noin 200 miljoonaa euroa (Väylävirasto 2019a).

Radan päällusrakenne koostuu sorasta tai raidesepelistä tehdystä tukikerroksesta ja raiderakenteesta. Raide koostuu ratakiskoista, ratapölkkyistä, ratakiskojen kiinnitys- ja jatkososista, vaihteista sekä muista raiteen erikoisrakenteista (Liikennevirasto 2014a, s. 6). Raiteen geometrista kuntoa voidaan mitata esimerkiksi radantarkastusvaunulla, joka mittaa raiteen geometriavaihteluita kiskoilla liikkuen. Muita mittaustapoja ovat kevyemmät mittaussvaunut ja käsiikäyttöiset mittauslaitteet. Mittaustulosten avulla havaitaan mahdolliset kunnossapittoa vaativat paikat ja varmistetaan rataverkon liikennöitävyys ja turvallisuus.

Vaihteet ovat mekanisme, jotka ohjaavat liikkuvien kieliosien avulla liikennettä raiteelta toiselle. Vaihteiden geometrista kuntoa mitataan muun raiderakenteen tapaan radantarkastusvaunulla siten, että mittaukseen sisällytetään 10 m raidetta vaihteen molemmin puolin. Vaihteiden kunnossapitoon tulee kiinnittää erityishuomiota, koska ne ovat liikennöinnin kannalta keskeisiä ratalaitteita (Liikennevirasto 2013, s. 6).

Tässä työssä tarkastellaan Helsinki–Tampere väliseltä rataosuudelta radantarkastuksen seurauksena tulostuneita vaihdeyhteenvetoja. Vaihdeyhteenvetojen perusteella tutkitaan, millaisia geometriavirheitä nopeiden rataosuuksien vaihteissa tyypillisesti esiintyy, geometriavirheiden kehittymisnopeutta sekä vaihteiden asennusvuoden että kunnossapitoalueen vaikutusta virheiden kehittymiseen ja esiintymiseen. Työn luvussa 2 käydään läpi aiheeseen liittyvää teoriaa geometrisen kunnan mittauksesta, kunnossapitotasosta- ja alueista, ratageometriasuureista sekä niiden virheluokista. Luvussa 3 esitetään tutkimuksessa käytetyt

tutkimusmenetelmät. Luvussa 4 käsitellään vaihdeyhteenvedoja ja tehdään päätelmiä vaihdeyhteenvedojen datasta piirretyistä kuvaajista. Luku 5 sisältää yhteenvedon työn sisällöstä sekä työn tulosten perusteella tehtyjä päätelmiä.

2. RADAN GEOMETRIA JA KUNNOSSAPITO

Tässä luvussa esitellään lyhyesti Suomen rautatieverkon geometrisen kunnan mittaamiseen käytetyt menetelmät, kunnossapitotasot sekä kunnossapitoalueet, ratageometriaa kuvaavat suureet sekä geometriavirheiden yhteydessä käytetyt virheluokat. Geometriavirheet ja kunnossapito liittyvät olennaisesti toisiinsa kunnossapidon ollessa se taho, joka pyrkii korjaamaan geometriavirheet ja säilyttämään siten radan turvallisesti liikennöitävässä kunnossa. Luvun tarkoituksena on taustoittaa tehtyä tutkimusta ja määritellä työn kannalta olennaisia käsitteitä ja aiheita.

2.1 Ratageometrian mittaus radantarkastusvaunulla

Radantarkastusvaunut mittaavat radan geometrista kuntoa ja ovat siksi hyödyllinen työkalu kunnossapidon suunnittelussa sekä kunnossapitotöiden kohdentamisessa. Radantarkastusvaunujen ratageometrian mittausmenetelmä perustuu joko mittakantamittaukseen tai inertiamittaukseen. Mittakantamittaus toteutetaan yleisimmin kolmipistemittauksena, jossa radantarkastusvaunun mittaustelit muodostavat kaksi mittauspistettä ja niiden keskellä sijaitseva erillinen mittausteli kolmannen pisteen. Mittakannalla tarkoitetaan radantarkastusvaunun mittaustelien välistä etäisyyttä. Radantarkastustulokset voidaan kuitenkin tulostaa vaunun todellisesta mittakannasta poikkeavalle laskennalliselle mittakannalle. Laserilla tehtävä mittakantamittaus tehdään samalla periaatteella mutta ilman kosketusta. (Peltokangas & Nurmikolu 2015, s. 14) Inertiamittauksessa radantarkastusvaunun akselin tai telin suhteellista asemaa mitataan gyroskooppien ja kiihtyvyysantureiden avulla. Erona mittakantamittauksen kolmipistemittaukseen, inertiamittaus tehdään vain yhdessä pisteessä. Inertiamittauksen mittaustulokset ovat jatkuvia ja niistä voidaan siksi suoraan tulostaa mittaustuloksia halutulla mittakannalla. (Peltokangas et al. 2013, s. 99)

Suomessa raidegeometrian mittauksessa käytetyn radantarkastusvaunu Ttr1 51:n eli EMMA-vaunun (kuva 1) geometriamittaus perustuu mittakantamittaukseen mittapyöräkertojen avulla. EMMA:n oma mittakanta on 12 metriä ja sen mittaustelit sijaitsevat 5:n ja 7 metrin etäisyydellä keskellä sijaitsevasta mittaustelistä. (Peltokangas & Nurmikolu 2015, s. 15) EMMA:n mittausten tuloksena saadaan käyrätuloste, virhelistaus sekä kilometriyhteenveto. (Salokangas 2008, s. 26) Lasersäteisiin perustuvaa mittakantamittaustekniikkaa on hyödynnetty ELLI-vaunussa (Peltokangas & Nurmikolu 2015, s. 15).



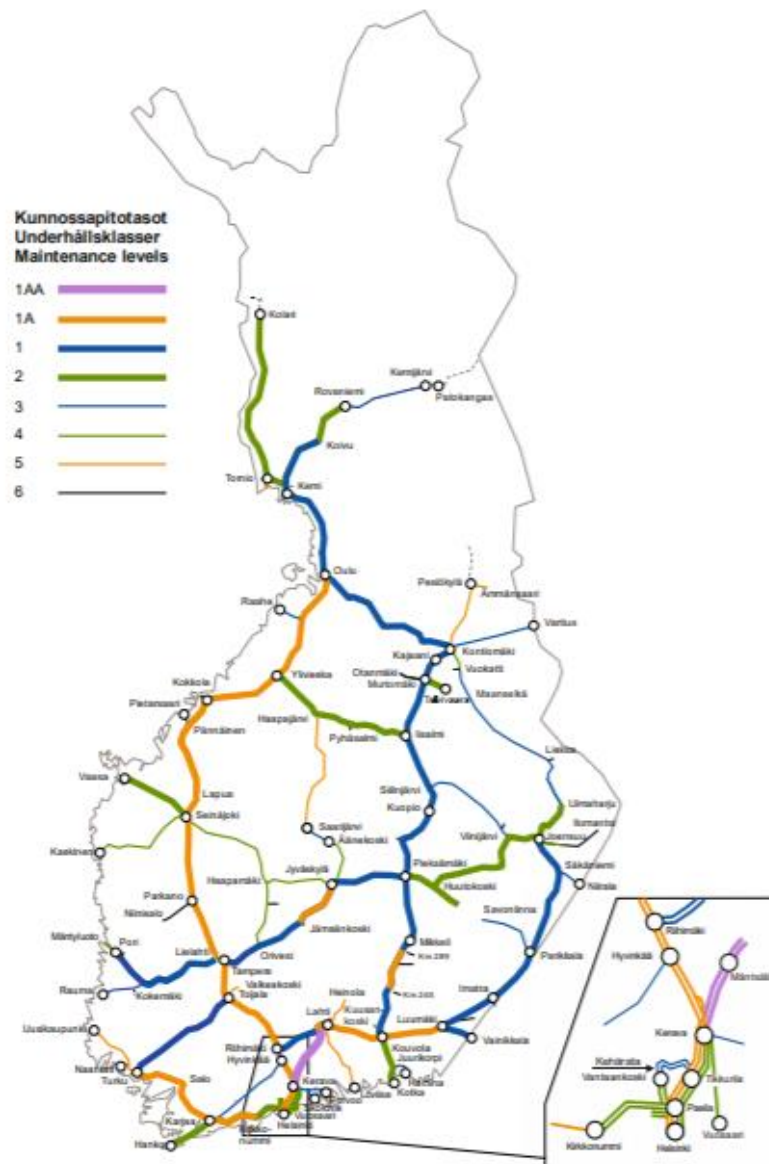
Kuva 1. Emma–vaunu (Wikipedia 2018)

EMMAN lisäksi käyttöön on tulossa radantarkastusvaunu Roger 800, eli Meeri, joka mittaa radan geometriavaihteluita inertian avulla. Meeri on italialaisen Mermecin valmistama vaunu, joka kykenee mittaamaan radan geometrisen kunnon lisäksi muun muassa radan profiilia sekä ajolangan geometriaa ja kuntoa. Mittausjärjestelmiin on myös integroituna uusi ultraäänimittausjärjestelmä, jonka tarkoituksena on kyetä huomaamaan raiteiden epäkohtia entistä tarkemmin. (Salokangas 2008, s. 26)

2.2 Kunnossapitotasot ja kunnossapitoalueet

Ratateknisten ohjeiden 13. osan (2006, s.16) mukaan rataosan kunnossapitotaso määräytyy radan liikenteellisten tarpeiden, päällysrakenteen sekä suurimman suunnittelunopeuden mukaan. Yhden rataosan sisällä voi olla poikkeavia kunnossapitotasoja tapauksessa, jossa alueella on pienempiä nopeusrajoituksia esimerkiksi työmaan tai pienisäteisten kaarteiden takia. (Ratahallintokeskus 2006 a, s.16)

Suomen pääradat voidaan jakaa kunnossapitotasoin kahdeksaan eri luokkaan rataosuuden suunnittelunopeuden perusteella. Kunnossapitotasot ovat 1AA, 1A, 1, 2, 3, 4, 5 ja 6. Kunnossapitotasot sallittuihin nopeuksiin on esitetty taulukossa 1. Pääratojen kunnossapitotasot kartalla on esitetty kuvassa 2. Suurin osa Suomen pääradoista kuuluu kolmeen korkeimpaan kunnossapitotasoon, eli kunnossapitotasoihin 1AA, 1A ja 1.



Kuva 2. Suomen pääratojen kunnossapitotasot (Väylävirasto 2019b, Liite 3F, s.21)

Taulukko 1. Kunnossapitotasot pää- ja sivuraiteilla (Ratahallintokeskus 2006a, s. 17)

| Kunnossapitotaso | Suurin nopeus V_{max} [km/h] ja sitä vastaava akselipaino P [kN] ^{1),2)} | Kiskopaino vähintään | Ratapölkkyt vähintään | Tukikerros vähintään |
|------------------|---|----------------------|------------------------------|------------------------|
| 1AA | $V_{max} \leq 220$, $P \leq 185$ | 60 E1 | Betoni, 3) | Raidesepeli |
| 1A | $V_{max} \leq 200$, $P \leq 185$ | 54 E1 | Betoni 1987 tai uudempi, 3) | Raidesepeli |
| | $V_{max} \leq 180$, $P \leq 185$ | 54 E1 | Betoni 1986 tai vanhempi, 3) | Raidesepeli |
| | $V_{max} \leq 160$, $P \leq 185$ | 54 E1 | Betoni/puu | Raidesepeli |
| | Sn160 raiteenvaihtopaikat | 60 E1 | Betoni, 3) | Raidesepeli |
| 1 | $V_{max} \leq 140$, $P \leq 185$ | 54 E1 | Betoni/puu | Raidesepeli |
| | Sn140 raiteenvaihtopaikat | | | |
| 2 | $V_{max} \leq 120$ | 54 E1 | Betoni/puu | Raidesepeli |
| | Sn110 raiteenvaihtopaikat | | | |
| 3 | $V_{max} \leq 110$ | K43 | Puu/betoni | Raidesepeli |
| 4 | $70 < V_{max} \leq 100$, pääraiteet | K43 | Puu/betoni | Raidesora tai vastaava |
| | $70 < V_{max} \leq 100$, sivuraiteet | | | |
| | Sn80 raiteenvaihtopaikat | | | |
| 5 | $50 < V_{max} \leq 70$, pääraiteet | K30 | Puu | Raidesora tai vastaava |
| | $50 < V_{max} \leq 70$, sivuraiteet | | | |
| | Sn35 raiteenvaihtopaikat | | | |
| 6 | $V_{max} \leq 50$, pääraiteet | K30 | Puu | Raidesora tai vastaava |
| | $V_{max} \leq 50$ sivuraiteet | | | |
| | Kuormaus ja seisontaraiteet | | | |

1) Ei koske vetureita junassa

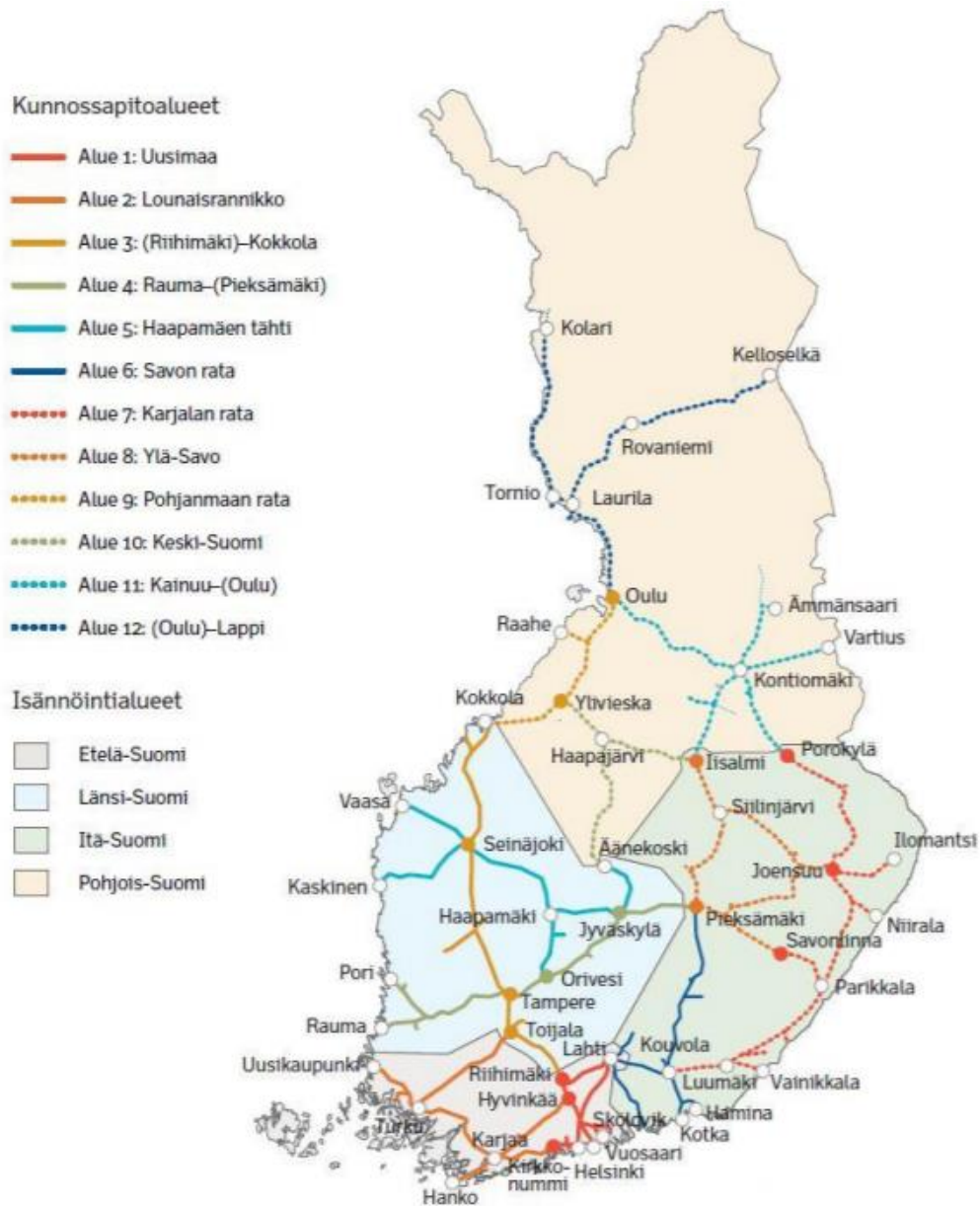
2) Huomioitava RAMO 11 "Radan päällysrakenne" mukaiset nopeus- ja akselipainorajoitukset eri raiderakenteille

3) Näissä saa olla enintään lyhyitä osuuksia mänty- tai puuratapölkkyjä (RAMO 11 "Radan päällysrakenne") esimerkiksi silloilla tai vaihteissa.

Kunnossapitotasot määrittävät sallitun nopeuden lisäksi rataosan määrätyn vuosittaisten radantarkastusajojen lukumäärän. Kunnossapitotasoilla 1AA ja 1A se on 6 kertaa vuodessa siten, että tarkastusajojen välillä on enintään kolme kuukautta aikaa. Alemmilla kunnossapitoalueilla

tarkastusajojen määrätyt ajokerrat vaihtelevat kolmesta kerrasta vuodessa yhteen kertaan kolmessa vuodessa. (Ratahallintokeskus 2006a, s. 18)

Suomen rataverkko on jaettu kahteentoista eri kunnossapitoalueeseen, joiden kunnossapito on jaettu eri toimijoiden vastuulle. Kunnossapitoalueen toimija, eli kunnossapitäjä, on vastuussa siitä, että alueen rata on kunnossapitosopimuksen määräämässä kunnossa. (Ratahallintokeskus 2004, s. 16) Kunnossapitoalueet ja niihin kuuluvat rataosuudet on esitetty kuvassa 3.

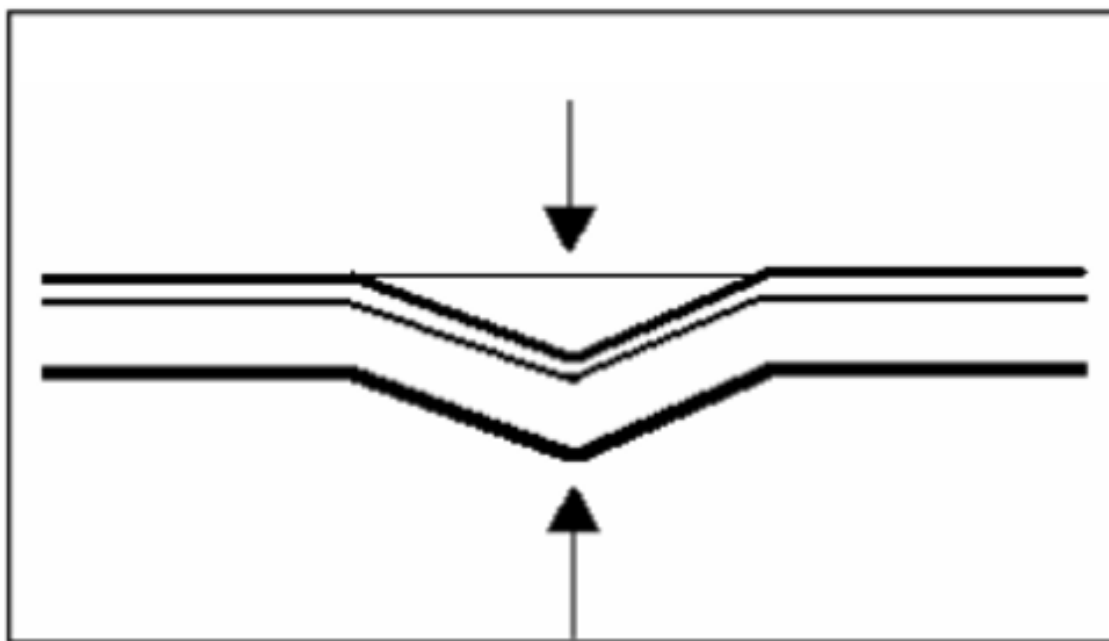


Kuva 3. Suomen rataverkon kunnossapito- ja isännöintialueet (Liikennevirasto 2014b, liite 6, s. 21)

2.3 Ratageometriasuureet

Raiteen geometrasta kuntoa kuvaamaan on määritetty tietyt suureet, jotka kuvaavat radan geometriaa ja sen muutoksia. Geometrialle ja sen poikkeamille on määritetty kunnossapitotasokohtaiset raja-arvot, joiden avulla voidaan määritellä radan kunnossapitotarve. (Pesonen 2016, s. 3) Raidegeometriasuureita ovat korkeuspoikkeama, nuolikorkeus, kallistus, kierous ja raideleveys.

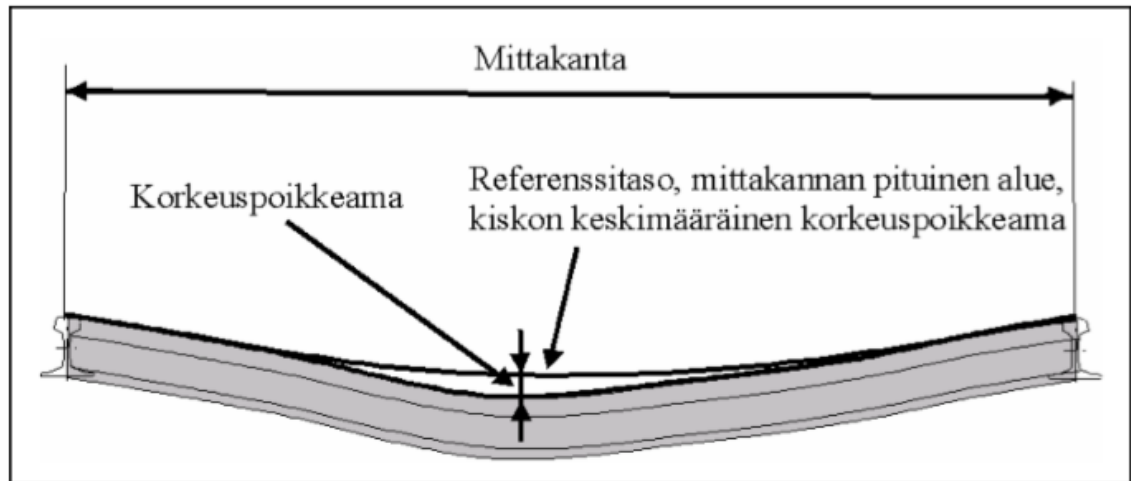
Korkeuspoikkeaman käsite on määritelty suomenkielisessä kirjallisuudessa kahdella eri tavalla. Ratahallintokeskuksen julkaisussa "Raiteentarkastustulokset ja niiden tulkinta" (2005, s. 3) määritellään korkeuspoikkeaman käsite seuraavalla tavalla: "Korkeuspoikkeamilla tarkoitetaan kiskon kulkupinnan teoreettisen jänteen keskipisteen etäisyyttä kiskon todellisesta kulkupinnasta". Tätä on havainnollistettu kuvassa 4. Peltokankaan ja Nurmikolun tekemän selvityksen (2015, s.18) mukaan määritelmässä kuvattu teoreettinen jänne tarkoittaa mittauksessa käytetyn mittakannan pituista suoraa, joka asetetaan kulkemaan kiskon kulkupintaa pitkin. Näin korkeuspoikkeama on tämän mittakannan keskipisteen ja kiskon todellisen kulkupinnan välinen kohtisuora etäisyys (Peltokangas & Nurmikolu 2015, s. 18).



Kuva 4. Korkeuspoikkeama "Raiteentarkastustulokset ja niiden tulkinta" mukaisesti esitettynä (Ratahallintokeskus 2005, s. 3)

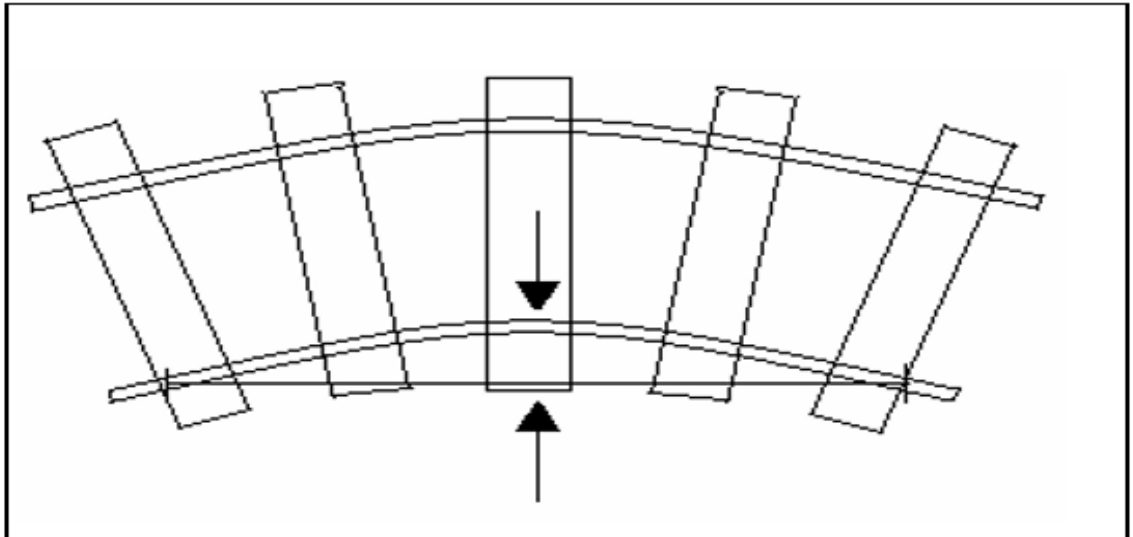
Ratahallintokeskuksen ratateknisten ohjeiden osassa 13 "Radan tarkastus" (2006a, s. 8) määritellään korkeuspoikkeama kiskon kulkupinnan korkeussuuntaisena poikkeamana raiteen keskimääräiseen korkeustasoon verrattuna. Tätä on havainnollistettu kuvassa 5. Standardi SFS-EN 13848-1 (2019, s. 7) määrittelee korkeuspoikkeaman hyvin samalla tavalla kuin RATO 13. Standardin (SFS-EN 13848-1, 2019, s. 7) mukaan korkeuspoikkeama on korkeussuuntainen poikkeama kiskon keskimääräisestä asemasta. Korkeuspoikkeamista käytetään lyhenteitä KPO

ja KPV riippuen siitä, kummalta kiskolta korkeuspoikkeama on mitattu. Oikean kiskon poikkeamista käytetään lyhennettä KPO ja vasemman kiskon poikkeamista lyhennettä KPV. (Nurmikolu & Peltokangas 2015, s. 19) Korkeuspoikkeamat mitataan 12 metrin mittakannalla, mutta tulostetaan joko 5, 12, 35 tai 70 metrin mittakannalla (Ratahallintokeskus 2005, s. 5).



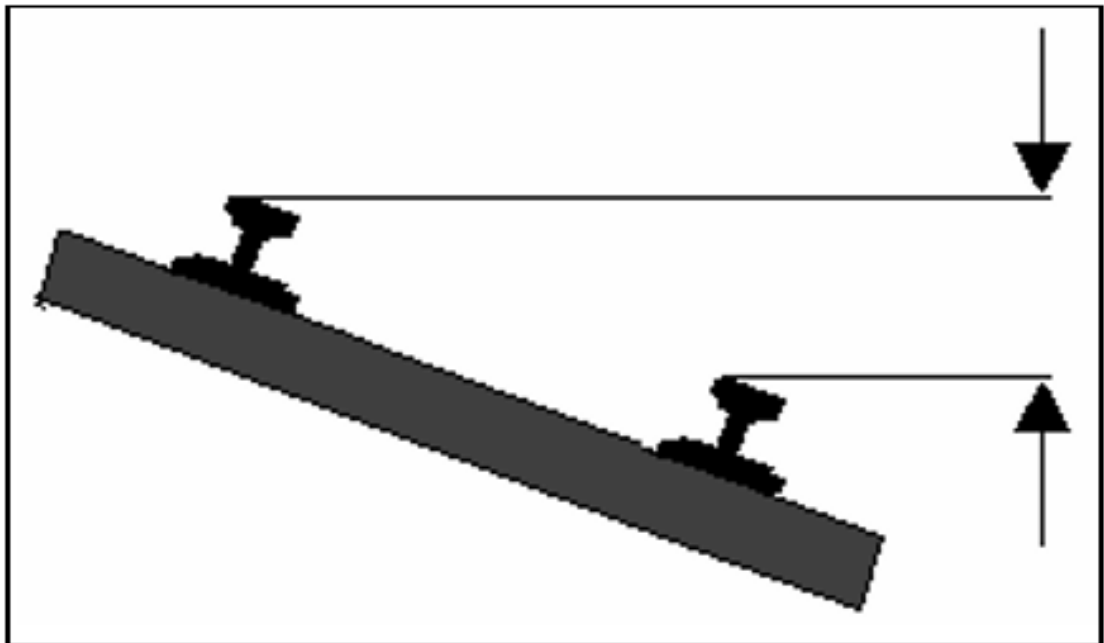
Kuva 5. Korkeuspoikkeaman määritelmä RATO 13 mukaan (Ratahallintokeskus 2006a, s. 8)

Nuolikorkeudella kuvataan kiskon kaarevuutta, ja siitä käytetään lyhenteitä NKO (oikea kisko), NKV (vasen kisko) sekä vaihdeyhteenvedojen tapauksessa nk+. Nuolikorkeus mitataan kaarevan kiskolinjan jänteen keskipisteen ja kiskon välisenä kohtisuorana etäisyytenä siten, että tarkastusvaunun uloimmat mittausakselit muodostavat mittausjanteen (Leimi 1994, s. 46; Ratahallintokeskus 2005, s. 5). Nuolikorkeuden määritelmä on esitetty kuvassa 6, jossa kaarteeseen piirretty suora on kaarteiden jänne. Kuten kuvasta voidaan havaita, on kaikissa kaarteissa tarkoituksenmukaista nuolikorkeutta. Kun suunnitellusta tasosta poiketaan, on kyseessä geometriavirhe. Nuolikorkeuden mittaus tehdään 12 metrin mittakannalla, mutta tulostetaan matemaattisena nuolikorkeutena 20 metrin mittakannalla. (Ratahallintokeskus 2005, s. 7)



Kuva 6. Nuolikorkeuden määritelmä (Ratahallintokeskus 2005, s. 5)

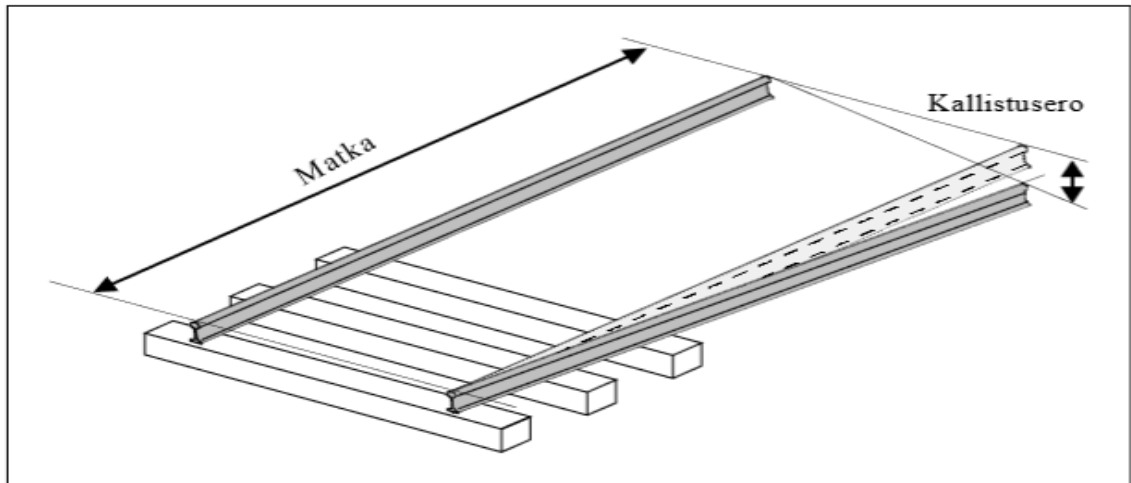
Kallistus kuvaa sisä- ja ulkokiskon välistä korkeuseroa, ja siitä käytetään lyhennettä KALS. (Ratahallintokeskus 2005, s. 4). Kuten nuolikorkeutta, myös kallistusta on kaikissa kaarteissa tarkoituksenmukaisesti. Kallistusta mitataan radantarkastusvaunun lattiaan kiinnitetyllä gyroskooppihyrrällä 5 metrin mittakannalla (Ratahallintokeskus 2005, s. 6). Kallistus on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Kallistuksen määritelmä (Ratahallintokeskus 2005, s. 4)

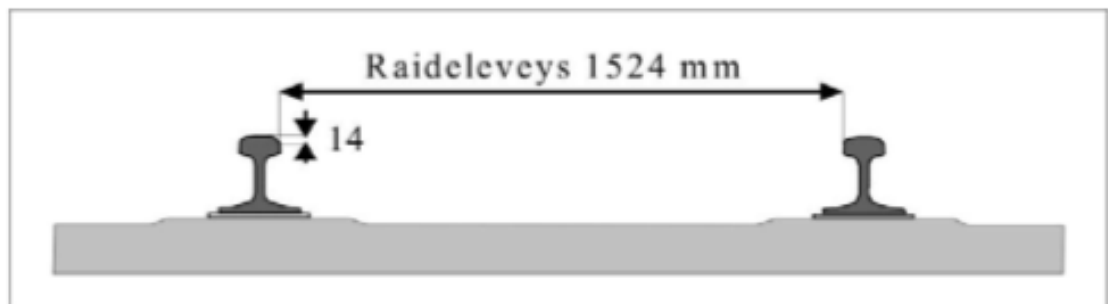
Kieroudella tarkoitetaan vierekkäisten kiskojen kallistusten eroavaisuutta, ja siitä käytetään lyhennettä KIER. Kierous lasketaan gyroskooppihyrrällä mitatuista kallistuksen muutosarvoista ja

se tulostetaan laskennallisesti 3,5 metrin mittakannalla. (Ratahallintokeskus 2005, s. 6; Ratahallintokeskus 2006a, s. 8) Ilmiötä on havainnollistettu kuvassa 8.



Kuva 8. Kierouden määritelmä (Ratahallintokeskus 2006a, s. 8)

Raideleveys on raidegeometriasuureista ainoa, jonka ideaalitaso on absoluuttinen. Suomessa kiskojen kulkupintojen välisen raideleveyden tulee olla 1524 mm. (Ratahallintokeskus 2006 a, s. 10). Raideleveyden määritelmää on havainnollistettu kuvassa 9. Raideleveys on raidegeometriasuureista ainoa, johon ei voida vaikuttaa tukemalla (Peltokangas & Nurmikolu 2015, s. 23).



Kuva 9. Raideleveys (Ratahallintokeskus 2006a, s. 10)

2.4 Virheluokat

Virheluokilla kuvataan mitattavien suureiden virheiden vakavuutta. Virheluokitusjärjestelmä on kunnossapitotasokohtainen, mikä tarkoittaa sitä, että luokkien raja-arvot vaihtelevat kunnossapitoluokan mukaan. (Ratahallintokeskus 2005, s. 10) Luokkia on kolme, C-, D- ja *-luokka. C- luokan virheet ovat alkavia virheitä, eivätkä vaadi kunnossapitäjältä akuutteja toimenpiteitä. Virheen kehittymistä tulee kuitenkin seurata ja suunnitella kunnossapitotoimenpiteet sitten, ettei liikenteen turvallisuus ja sujuvuus heikkene. D-luokan virheet tulee korjata lähitulevaisuudessa. Vakavuudeltaan merkittävin luokka on *-luokka, johon luokiteltaviin virheisiin on reagoitava välittömästi. Kunnossapitäjän tulee tarkastaa virhe paikan

päällä, ja hoitaa tarvittavat toimenpiteet mahdollisimman nopeasti. Yleisimmin tämä tarkoittaa nopeusrajoituksen asettamista siksi aikaa, että virhe on saatu korjattua. (Ratahallintokeskus 2005, s. 10)

3. TUTKIMUSMENETELMÄT

Työ toteutetaan tarkastelemalla EMMA–vaunun tuottamia vaihdekohtaisia kilometriyhteenvetoja, eli vaihdeyhteenvetoja. Tarkastusajot on tehty vuoden 2018 aikana Helsinki–Tampere välisellä rataosuudella, eli pääraide 003:lla. Tarkastelualue rajataan käsittämään vain kaksi läntisintä raidetta, joilla kulkee kaukoliikenteen junia. Nämä raiteet on aineistossa nimetty raiteiksi 1 ja 2 sekä läntiseksi keskiraiteeksi sekä läntiseksi sivuraiteeksi. Koko rataosuus kuuluu kunnossapitotasoon 1A, eli rataosan suurin sallittu nopeus on 200 km/h.

Mittausdata on saatu Rataportti-palvelusta, johon on arkistoitu erilaista rataverkon mittausdataa. Vaihdeyhteenvedot on koottu palveluun rataosuuksittain. Data on siirretty vaihdeyhteenvedoista Excel-ohjelmaan, jonka avulla aineistoa on käsitelty ja analysoitu.

Tarkasteltava rataosuus kulkee kahdella eri kunnossapitoalueella. Tarkastelualue kuuluu puoliksi Etelä-Suomen ja puoliksi Länsi-Suomen kunnossapitoalueisiin. Kunnossapitoalueiden raja on Riihimäen liikennepaikka.

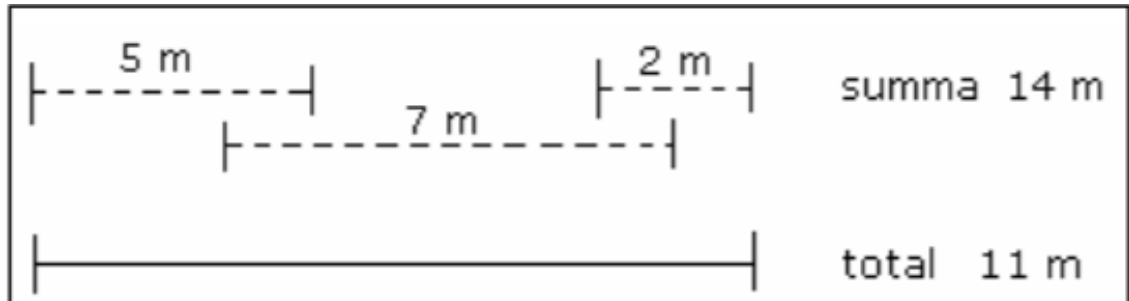
Vaihdeyhteenvedoissa on esitetty rataosuuden vaihteiden sijainti ratakilometreinä, vaihteen kunnossapitotaso, D–virheen metrimäärä, vaihteen saama arvosana sekä mahdollinen virhetyyppi. Esimerkkinä kuva 10, jossa on osa 4.5.2018 mitatuista tarkastustuloksista rataosuudella Riihimäki–Tikkurila.

| KM | 4.5.2018 | | | | |
|------------------|----------|--------|--------|-------|------|
| | KP.TASO | D-VIRH | ARVO * | VIRHE | |
| 16, 324- 16, 399 | 1A | 21.75 | ET | * | kals |
| 16, 401- 16, 476 | 1A | 7.25 | T | | KPO |
| 16, 970- 17, 051 | 1A | 1.25 | H | | KPO |
| 21, 135- 21, 215 | 1A | 4.5 | H | | KALS |
| 21, 572- 21, 652 | 1A | 3.5 | H | | KIER |
| 27, 938- 28, 018 | 1A | 5.25 | T | | KALS |
| 28, 515- 28, 595 | 1A | 3.5 | H | | KPV |
| 29, 677- 29, 725 | 1A | 10.5 | ET | * | KPV |
| 29, 730- 29, 810 | 1A | 0.25 | H | | KPV |
| 30, 980- 31, 099 | 1A | 0 | K | | |

Kuva 10. Ote Riihimäki–Tikkurila rataosuuden (raide 1) vaihdeyhteenvedosta 4.5.2018

Vaihdekohtainen D–virheen metrimäärä ilmoitetaan yhteenvedoissa kokonaisvirhemääränä. Kokonaisvirhemäärä tarkoittaa sitä metrimäärää, jolla virheitä vaihteessa esiintyy. Virheet voivat esiintyä mitatulla osuudella sisäkkäin, jonka vuoksi virhemetrimäärää ei ilmoiteta suoraan

virheiden summana. (Ratahallintokeskus 2005, s. 19) Esimerkiksi kuvan 10 tapauksessa mitatulla 11 metrin osuudella esiintyy kahta eri virhetyyppiä, joiden sijoittuminen on osittain sisäkkäin. D–virheen metrimäärä tässä tapauksessa on kuitenkin 11 metriä, eikä 14 metriä, mikä olisi jokaisen mitatun virheen metrimäärän summa. Kokonaisvirhemetrimäärän muodostumista on havainnollistettu kuvassa 11.



Kuva 11. Kokonaisvirhemetrimäärän muodostuminen (Ratahallintokeskus 2005, s. 19)

Vaihteen arvosana määritellään virhemetrimäärän perusteella vaihdekohtaisesti. Arvosanojen raja-arvot on esitetty taulukossa 2. Vaihteet, joiden virhemetrimäärä on 0, luokitellaan kiitettäviksi vaihteiksi. Vaihteet, joiden virhemetrimäärä on alle 5 m, luokitellaan hyväkuntoisiksi vaihteiksi. Tyydyttävien vaihteiden virhemetrimäärä on alle 10 m. Mikäli vaihteen virhemetrimäärä on yli 10 m, saa se arvosanan epätydyttävä *, mikä edellyttää kunnossapitäjältä välittömiä toimenpiteitä. Tällainen toimenpide voi olla esimerkiksi matalampi nopeusrajoitus tai virheen välitön korjaus.

Taulukko 2. Kilometriarvostelun virherajat (Ratahallintokeskus 2005, s. 21)

| Arvostelu | D-luokan virhemetrimäärä/vaihde |
|---------------------|---------------------------------|
| Kiitettävä (K) | = 0 |
| Hyvä (H) | ≤ 5 |
| Tyydyttävä (T) | ≤ 10 |
| Epätydyttävä (ET *) | > 10 |

Vaihdeyhteenvetojen vaihdekohtainen virhetyyppi on se virhe, jonka virhemetrimäärä mitatulla osuudella on suurin. Mitatussa vaihteessa saattaa olla siis useita eri virhetyyppejä, joista vaihdeyhteenvetoissa esitetty virhetyyppi on virhemetrimäärältään suurin.

4. VAIHDEYHTEENVETOJEN TARKASTELU

Tässä luvussa käsitellään EMMA–vaunun radantarkastusten tuloksena tulostuneiden vaihdeyhteenvedojen sisältöä sekä niiden perusteella tehtyjä kuvaajia. Luku on jaettu kuuteen alalukuun, joissa viidessä tarkastellaan mittausdataa erilaisista näkökulmista. Kuudennessa alaluvussa käsitellään vaihdeyhteenvedojen tarkastelun perusteella syntyneitä johtopäätöksiä.

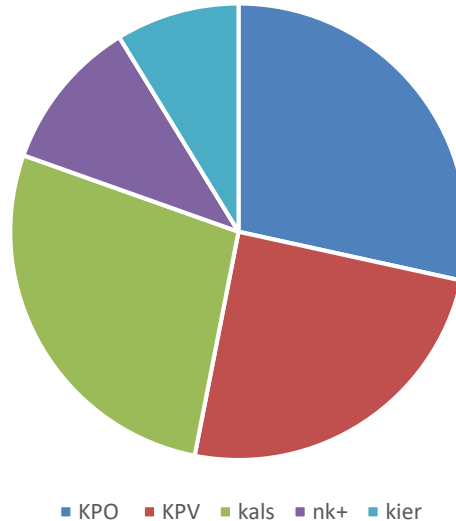
4.1 Tarkastelualueen yleisimmät virhetyypit

Koko tarkastelualueella tehtiin tarkastuksia vuoden 2018 aikana yhteensä 12 eri päivänä. Virheitä mitattiin yhteensä 925, ja niistä yleisin oli oikealta kiskolta mitattu korkeuspoikkeama. Virheiden lukumäärät tarkasteluajana on taulukoitu taulukkoon 3.

Taulukko 3. *Virhetyyppien esiintyvyys tarkastelualueella vuonna 2018 tehdyissä mittauksissa*

| Virhetyyppi | Lukumäärä koko tarkasteluajana |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| Korkeuspoikkeama, oikea kisko (KPO) | 263 |
| Korkeuspoikkeama, vasen kisko (KPV) | 228 |
| Kallistus (kals) | 253 |
| Nuolikorkeus (nk+) | 100 |
| Kierous (kier) | 81 |
| | $\Sigma = 925$ |

Eri virhetyyppien osuudet kokonaisvirhemäärästä on esitetty graafisesti kuvassa 12. Kummankin kiskon korkeuspoikkeamat yhteen summattuna korkeuspoikkeaman osuus kokonaisvirhemäärästä on ollut yli 50 %. Toiseksi yleisin virhetyyppi on kallistus, jonka osuus kokonaisvirhemäärästä on noin neljäsosa. Nuolikorkeusvirheiden ja kierouden osuus on lähes yhtä suuri.



Kuva 12. Geometriavirhetyyppien suhteellinen esiintyvyys Helsinki–Tampere välisen rataosuuden raiteilla 1 ja 2 vuoden 2018 aikana

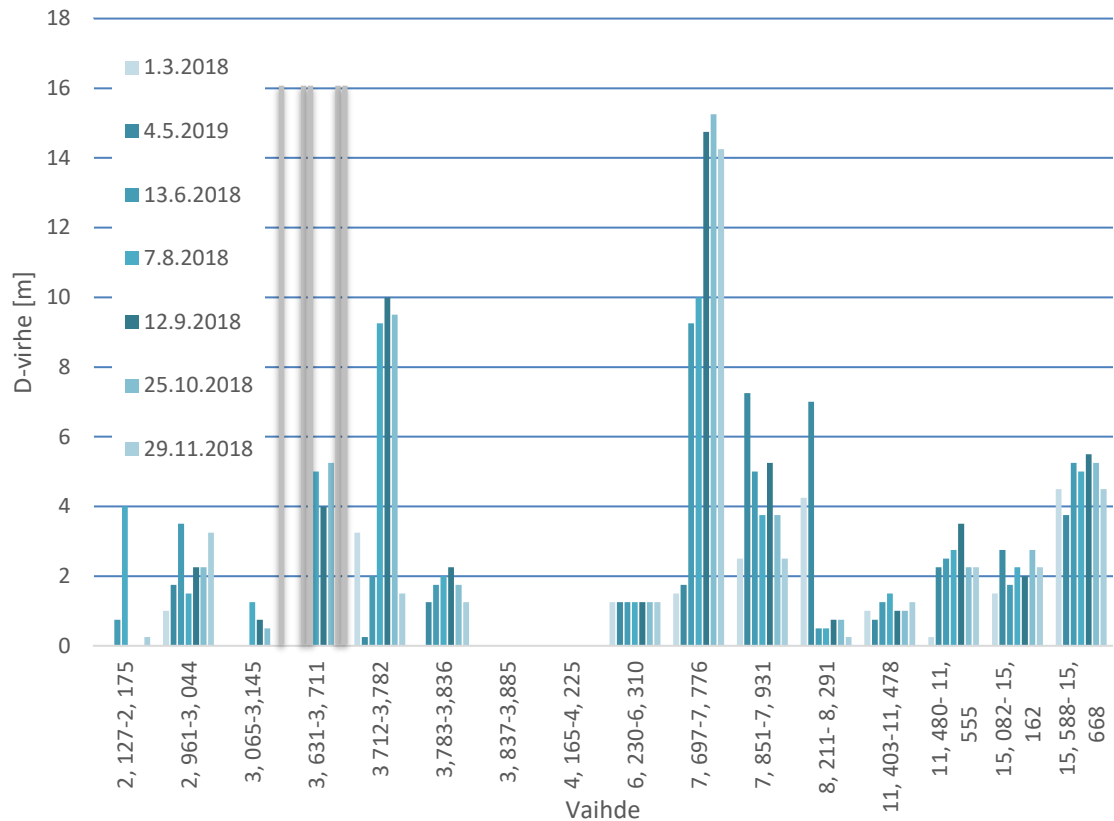
4.2 Rataosakohtainen tarkastelu

Kaikkia tarkastelualueen vaihteita ei mitattu jokaisella mittauskerralla. Nämä mittaamattomat kerrat on merkitty kuvaajiin harmailla pystyviivoilla kuvaajien luettavuuden parantamiseksi. Vaihteiden tukemiskertoja on arvioitu virhemetrimäärän vähentymisen perusteella. Pieniä virhemetrimäärän vähenemisiä mittauskertojen välillä ei katsota tässä tukemiseksi, sillä ne voivat mahdollisesti johtua mittalaitteiston epätarkkuudesta.

4.2.1 Helsinki–Tikkurila

Helsinki–Tikkurila välisellä rataosuudella tarkastelualue rajataan käsittämään vain kaksi läntisintä raidetta, joilla kulkee kaukoliikenteen junia. Nämä raiteet on aineistossa nimetty raiteiksi 1 ja 2 sekä läntiseksi keskiraiteeksi sekä läntiseksi sivuraiteeksi. Rataosuus sijoittuu ratakilometrien 2 ja 15 väliin. Alueelta tarkasteltiin yhteensä 32 vaihdetta.

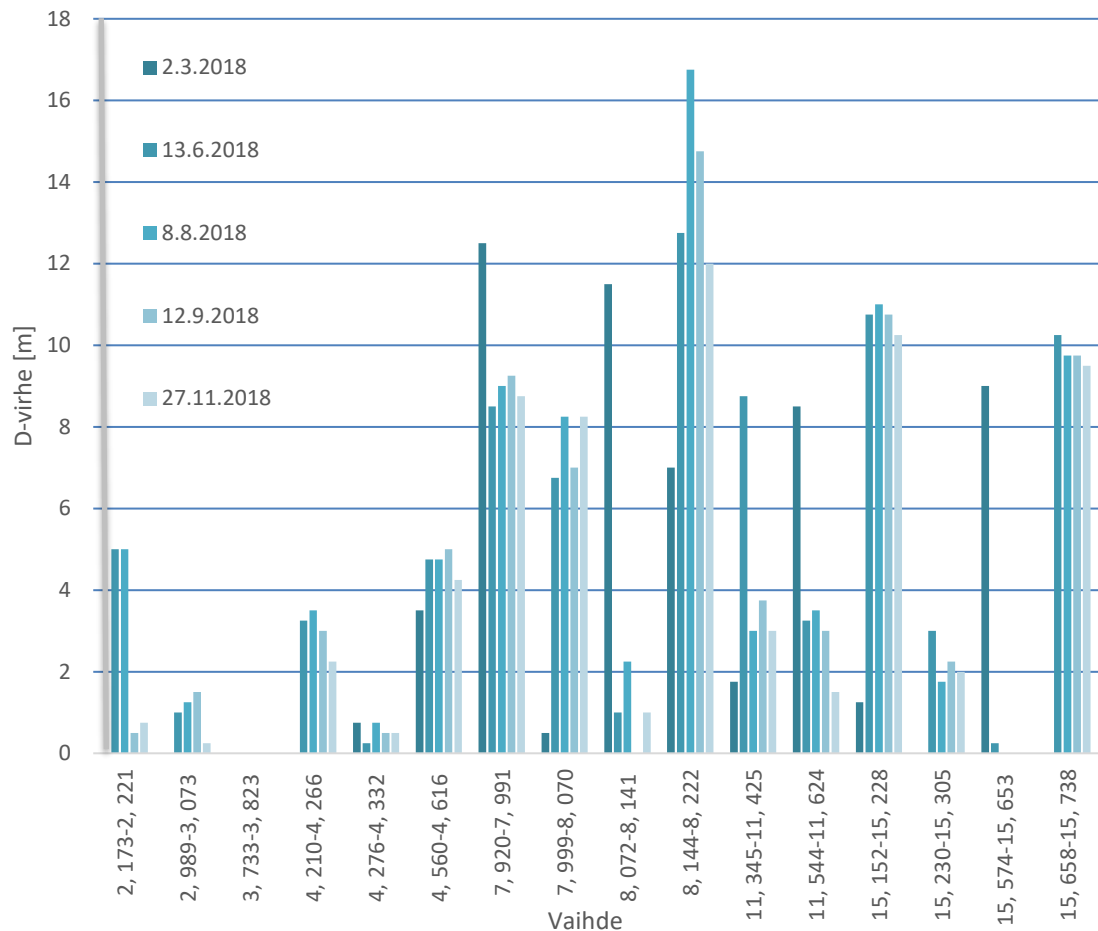
Raide 1 tarkastettiin vuoden 2018 aikana 7 kertaa. Tarkastustulokset on esitetty kuvassa 13. Tarkastetuista vaihteista 10/16 vaihteesta säilyi läpi vuoden hyvässä kunnossa (virhemetrimäärä alle 5 m). Vaihteet 3,837–3,885 sekä 4,165–4,225 säilyivät kiitettävässä kunnossa kaikkien mittauksen ajan. Huonoimmassa kunnossa tarkastelluista vaihteista oli vaihde 7,697–7,776, jonka virhemetrimäärä oli suurimmillaan 15,25 m.



Kuva 13. Helsinki–Tikkurila rataosuuden raiteen 1 vaihteiden virhemetrimäärät vuoden 2018 tehtyjen mittausten aikana

Selkeimmät tukemisen vaikutukset ovat nähtävissä vaihteissa 3,712–3,782 sekä 8,211–8,291 virhemetrimäärän pudotessa runsaasti mittausten välissä. Kuvaajasta voidaan päätellä, että osaa raiteen 1 vaihteista on tuettu ainakin 13.6.2018 ja 7.8.2018 jälkeen. On kuitenkin epäselvää, miksei rataosuuden huonokuntoisinta vaihdetta 7,697–7,776 ole tuettu kertaakaan.

Raiteen 2 vaihteet ovat keskimäärin huonommassa kunnossa kuin raiteen 1 vaihteet (kuva 4.). Läpi vuoden hyväkuntoisina säilyneitä vaihteita oli 6/16, eli hieman vähemmän kuin raiteella 1. Suurimmat virhemetrimäärät ovat vaihteissa 8,144–8,222 (maksimiarvo 16,75 m) sekä 7,920–7,991 (maksimiarvo 9,25 m).



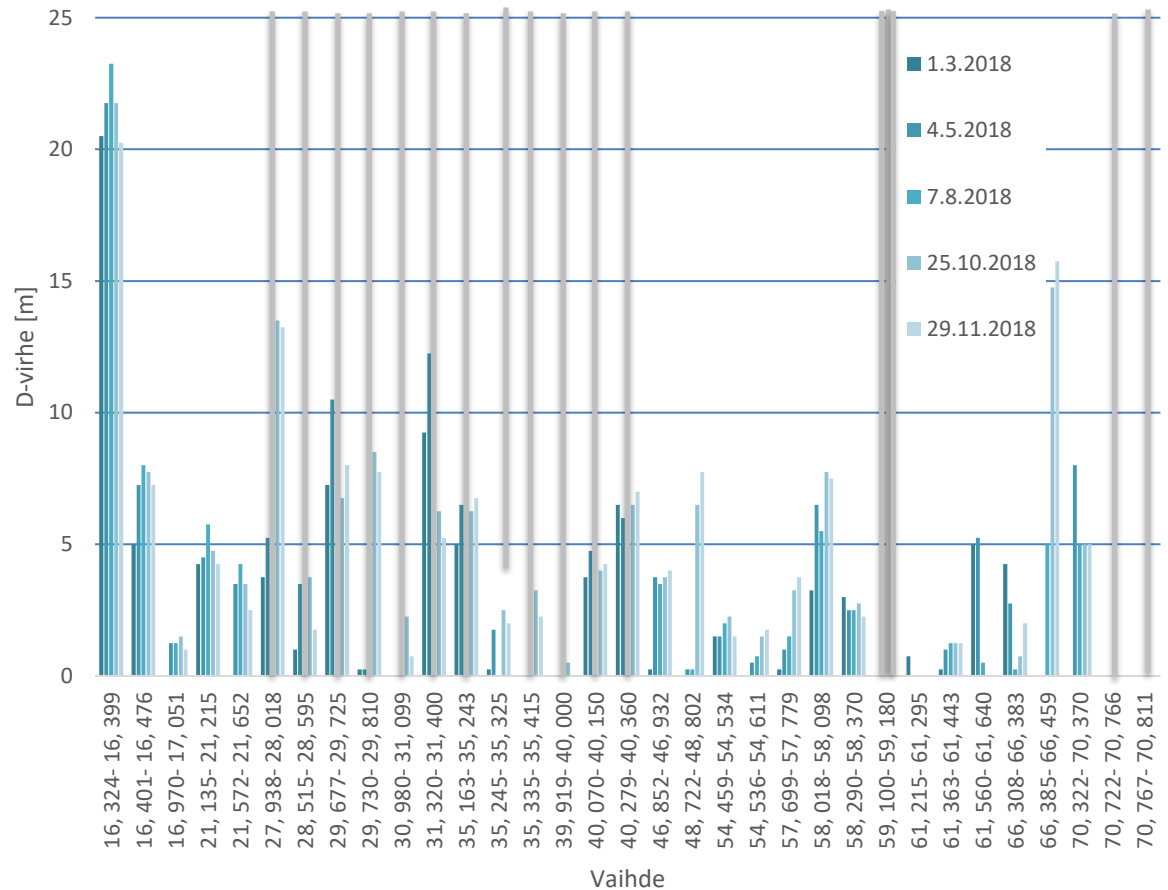
Kuva 14. Helsinki–Tikkurila rataosuuden raiteen 2 vaihteiden virhemetrimäärät vuoden 2018 tehtyjen mittausten aikana

Raiteen 2 vaihteita on tuettu ainakin 2.3.2018 tapahtuneen mittauksen jälkeen. Tukeminen ei kuitenkaan ole vaikuttanut huonokuntoisimpaan vaihteeseen 8,144–8,222 sen virhemetrimäärän ollessa lähes läpi vuoden epätydyttävällä tasolla. Sama ilmiö toistuu siis kummankin raiteen huonoimmalla vaihteella. Mielenkiintoista on myös se, että ratakilometrien 7 ja 8 välillä molempien raiteiden vaihteissa on huomattava määrä virheitä.

4.2.2 Tikkurila–Riihimäki

Tikkurila–Riihimäki rataosuus sijoittuu ratakilometrien 16 ja 70 väliin. Tarkasteltavia vaihteita alueella on 76, joista kaikki sijaitsevat raiteilla 1 ja 2. Tarkastuksia tällä rataosuudella tehtiin vuoden 2018 aikana yhteensä 11 eri päivänä.

Raiteen 1 kaikkia vaihteita ei tarkistettu kaikkina tarkastuspäivinä, minkä vuoksi kuvaajassa on paljon harmaita pystyviivoja (kuva 15.). Nämä vaihteet sijoittuvat pääosin ratakilometrien 27–40 väliin. Noin puolet tarkastelluista vaihteista säilyivät hyväkuntoisina vuoden 2018 ajan. Vähintään tyydyttävässä kunnossa olevia vaihteita on rataosuudella 5. Erityisen huonossa kunnossa läpi vuoden on ollut vaihde 16,324–16,399, jonka suurin mitattu virhemetrimäärä on 23,25 m.

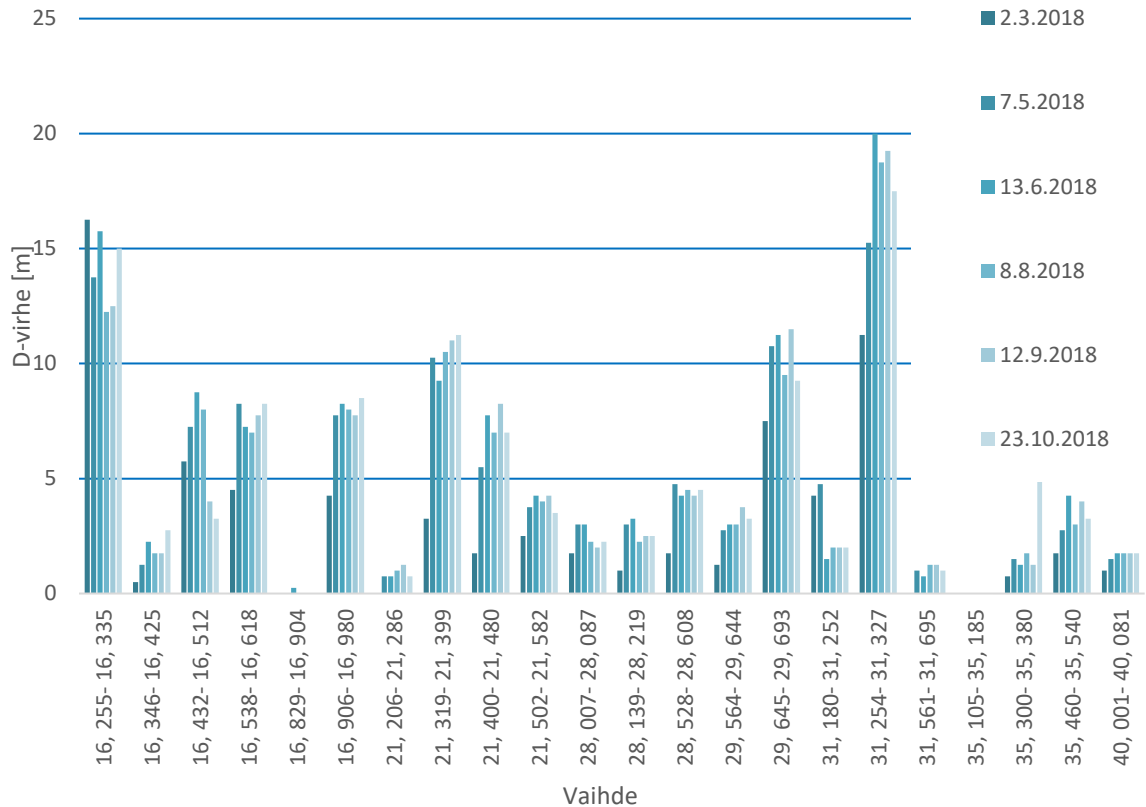


Kuva 15. Tikkurila–Riihimäki rataosuuden raiteen 1 vaihteiden virhemetrimäärät vuoden 2018 tehtyjen mittausten aikana

Vaihteiden tukemiskerrat eivät näy tässä kuvassa erityisen selkeästi, vaan lähes kaikkien vaihteiden virhemetrimäärät nousevat tasaisesti ylöspäin ajan kuluessa. Kuitenkin vaihteiden 29,677–29,725 ja 31,320–31,400 virhemetrimäärät ovat laskeneet kesän 2018 aikana, eli voidaan olettaa, että ne on tuettu. Tässäkään otannassa huonokuntoisimman vaihteen kuntoon ei ole tullut suuria muutoksia koko vuoden aikana, eli joko sitä ei ole tuettu tai tuenta ei ole vaikuttanut vaihteen kuntoon.

Raiteella 2 sijaitsee 43 vaihdetta, minkä vuoksi vaihteista tehtiin kaksi erillistä kuvaajaa (kuvat 16 ja 17). Kuvassa 16. on esitetty raiteen 2 vaihteet ratakilometrien 16–40 välillä, ja kuvassa 17 vaihteet ratakilometrien 40–70 välillä.

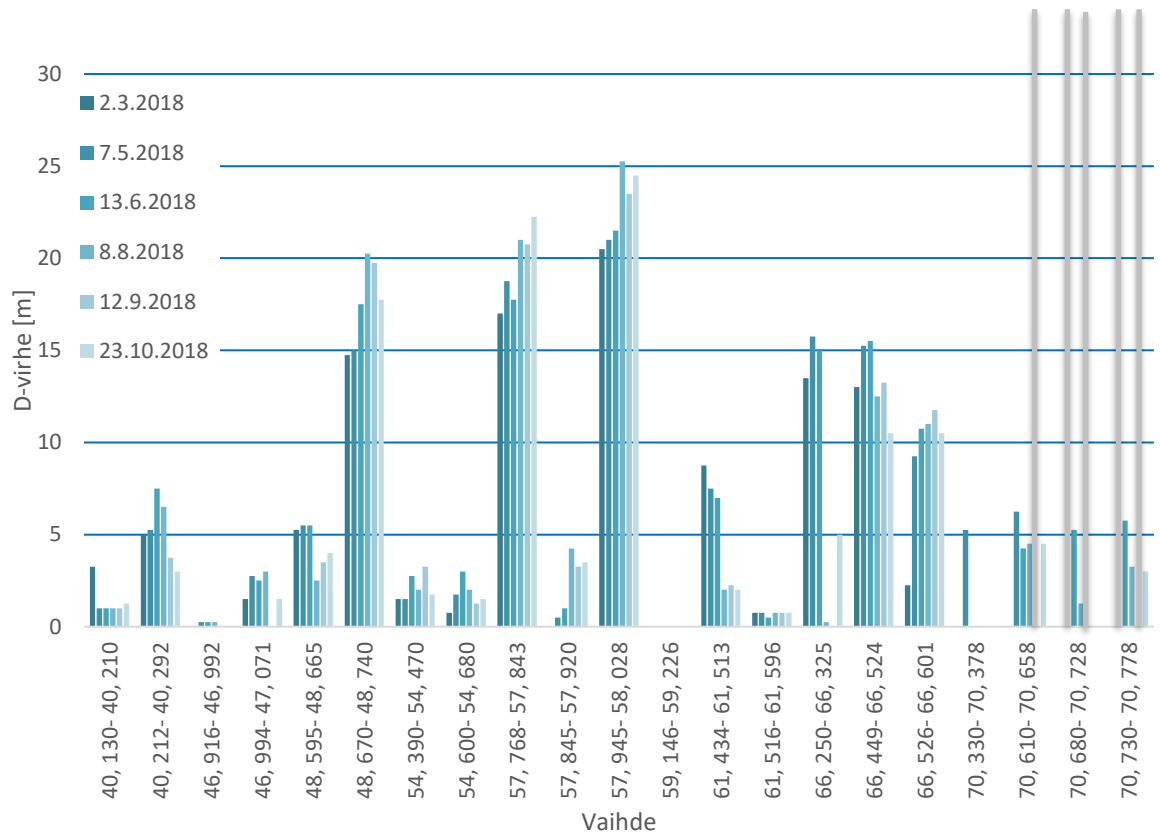
Raiteella 2 ratakilometrien 16–40 välillä sijaitsevista vaihteista puolet ovat säilyneet läpi vuoden 2018 hyvässä kunnossa (kuva 16). Lisäksi kuvasta on nähtävissä neljän vaihteen olleen tyydyttävässä kunnossa. Erityisen huonossa kunnossa on vaihde 31,254–31,327, jonka virhemetrimäärä on ollut suurimmillaan 20 m. Vaihde 35,105–35,185 on säilynyt kiitettävässä kunnossa koko vuoden 2018 ajan.



Kuva 16. Tikkurila–Riihimäki rataosuuden raiteen 2 vaihteiden virhemetrimäärät vuoden 2018 tehtyjen mittausten aikana (ratakilometrit 16–40)

Vaihteet 16,432–16,512 ja 31,180–31,252 ovat tuettu kumpikin kerran vuoden aikana. Muissa vaihteissa virhemäärien vähenemät voivat olla seurausta tukemisesta, tai mittausten epätarkkuudesta. Kuten aiemmissakin tarkastelluissa huonokuntoisissa vaihteissa, ei tuenta ole vaikuttanut vaihteeseen 31,254–31,327.

Raiteella 2 ratakilometrien 40–70 välillä sijaitsevista vaihteista erityisen heikossa kunnossa ovat olleet vaihteet 48,670–48,740, 57,768–57,843 sekä 57,945–58,028, joiden lähes jokaisen mittauksen virhemetrimäärä on ollut yli 15 m (kuva 17). Otannan parhaassa kunnossa on säilynyt vaihde 59,146–59,226, jonka virhemetrimäärä on ollut jokaisessa mittauksessa 0 m. Kokonaisuudessaan 15/21 vaihteista on säilynyt koko vuoden vähintään tyydyttävässä kunnossa.

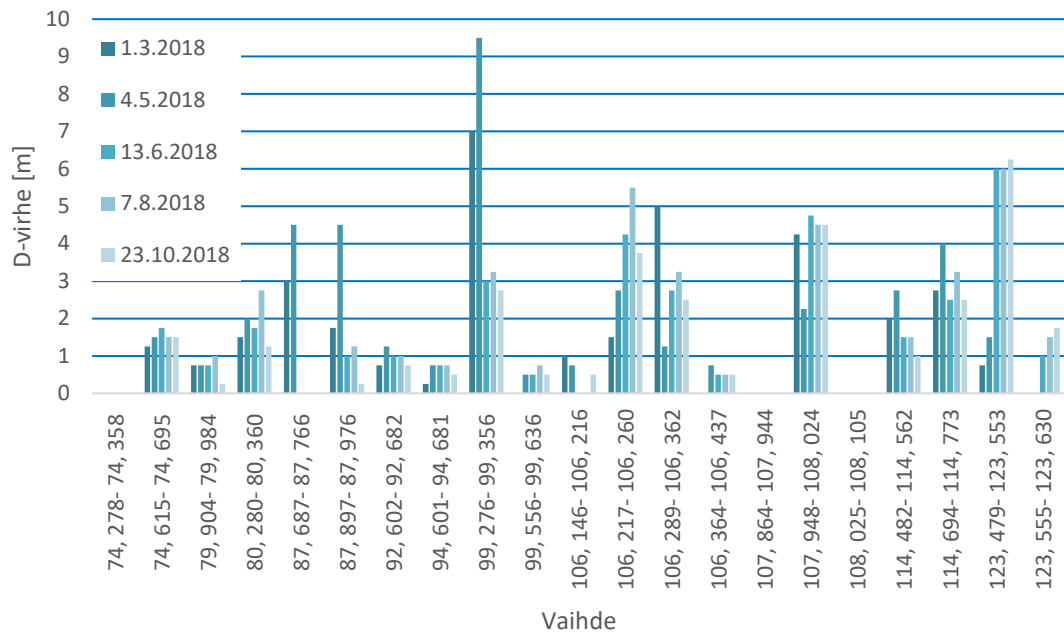


Kuva 17. Tikkurila–Riihimäki rataosuuden raiteen 2 vaihteiden virhemetrimäärät vuoden 2018 tehtyjen mittausten aikana (ratakilometrit 40–70)

4.2.3 Riihimäki–Tampere

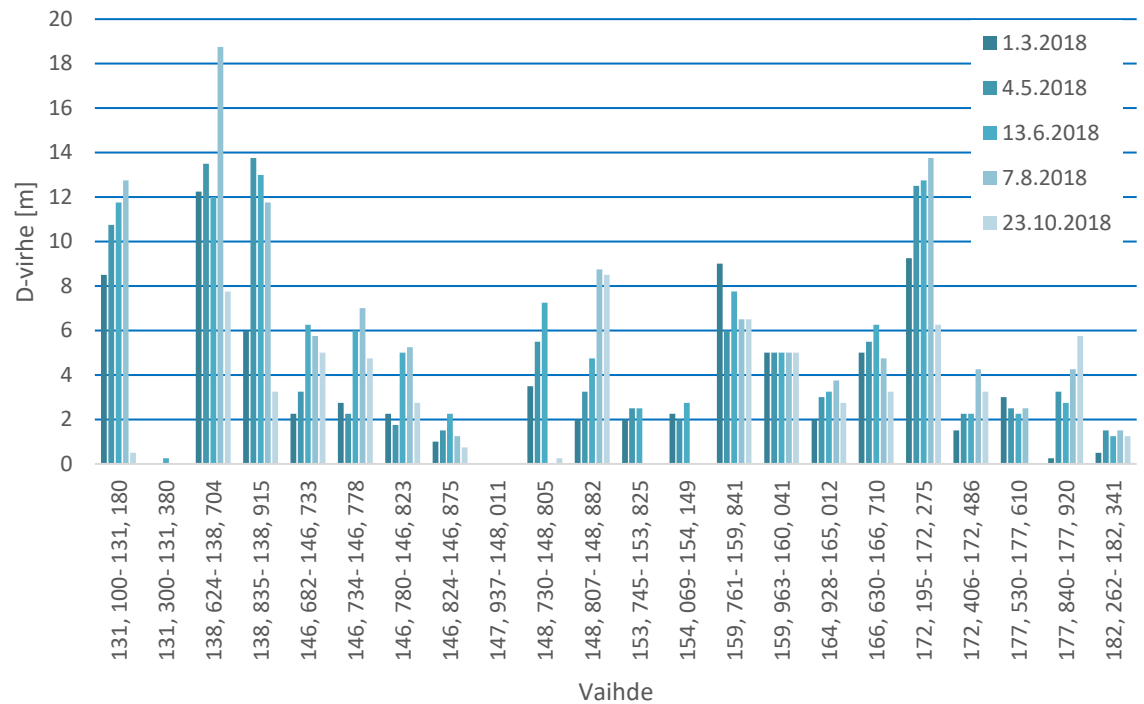
Riihimäki–Tampere väli sijoittuu ratakilometrien 70 ja 186 väliin. Tarkasteltavia vaihteita rataosuudella on 98, ja ne ovat sijoittuneet raiteille 1 ja 2. Radantarkastuksia tällä rataosuudella tehtiin yhteensä 10 eri päivänä. Kaikki tarkasteltavat vaihteet tarkastettiin jokaisella tarkastuskerralla. Kummankin raiteen vaihteet on jaettu kahteen eri kuvaajaan vaihteiden lukumäärän vuoksi.

Raiteella 1 ratakilometrien 74–123 väliin sijoittuvat vaihteet ovat yleisesti ottaen hyvässä kunnossa (kuva 18). Otannan vaihteista heikkokuntoisin on ollut vaihde 99,276–99,356, jonka virhemetrimäärä on ollut korkeimmillaan 9,5 metriä. Vaihde on siis heikoimmillaan ollut tyydyttävässä kunnossa. Lähes kaikkien muiden vaihteiden kunto on säilynyt hyvänä läpi vuoden.



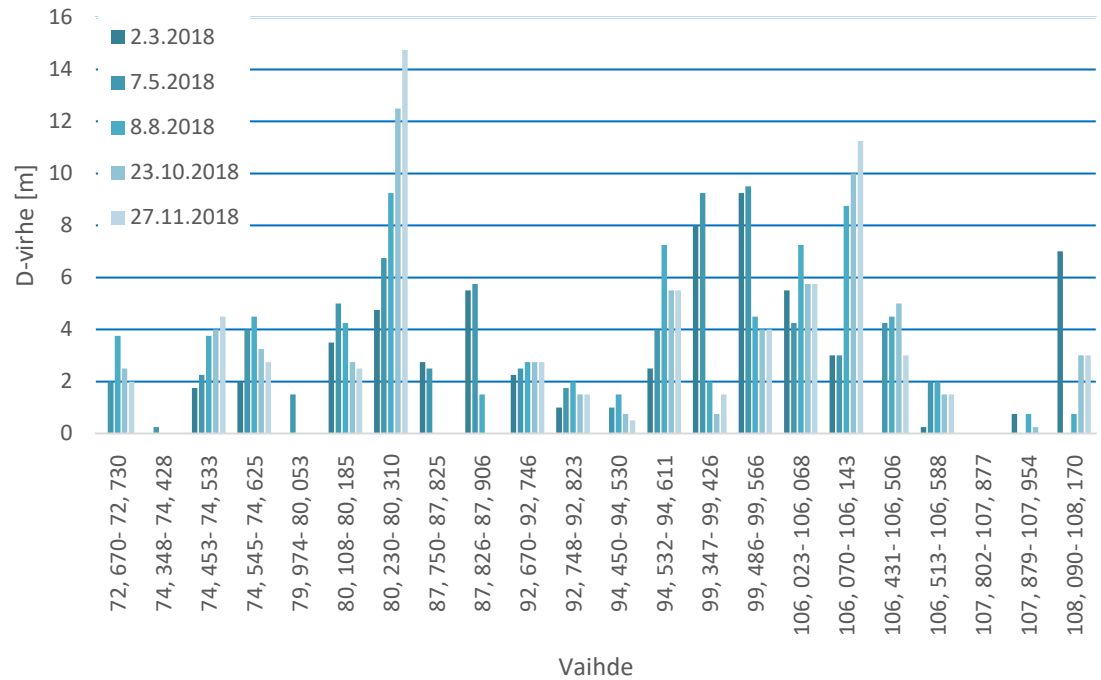
Kuva 18. Riihimäki-Tampere rataosuuden raiteen 1 vaihteiden virhemetrimäärät vuoden 2018 tehtyjen mittausten aikana (ratakilometrit 74-123)

Raiteen 1 ratakilometrien 131-182 väliin sijoittuneiden vaihteiden yleiskunto on heikompi (kuva 19). Suurin virhemetrimäärä on mitattu vaihteesta 138,624–138,704, jonka virhemetrimäärä on ollut pahimmillaan 18,25 metriä. Muita heikkokuntoisia vaihteita ovat 131,100–131,180, 138,835–138,915 sekä 172,195–172,275, joiden virhemetrimäärien keskiarvot ovat hyvin lähellä 10 metriä. Otannan parhaassa kunnossa on säilynyt vaihde 147,937–148,011 jonka virheiden vuosikeskiarvo on ollut 0 metriä.



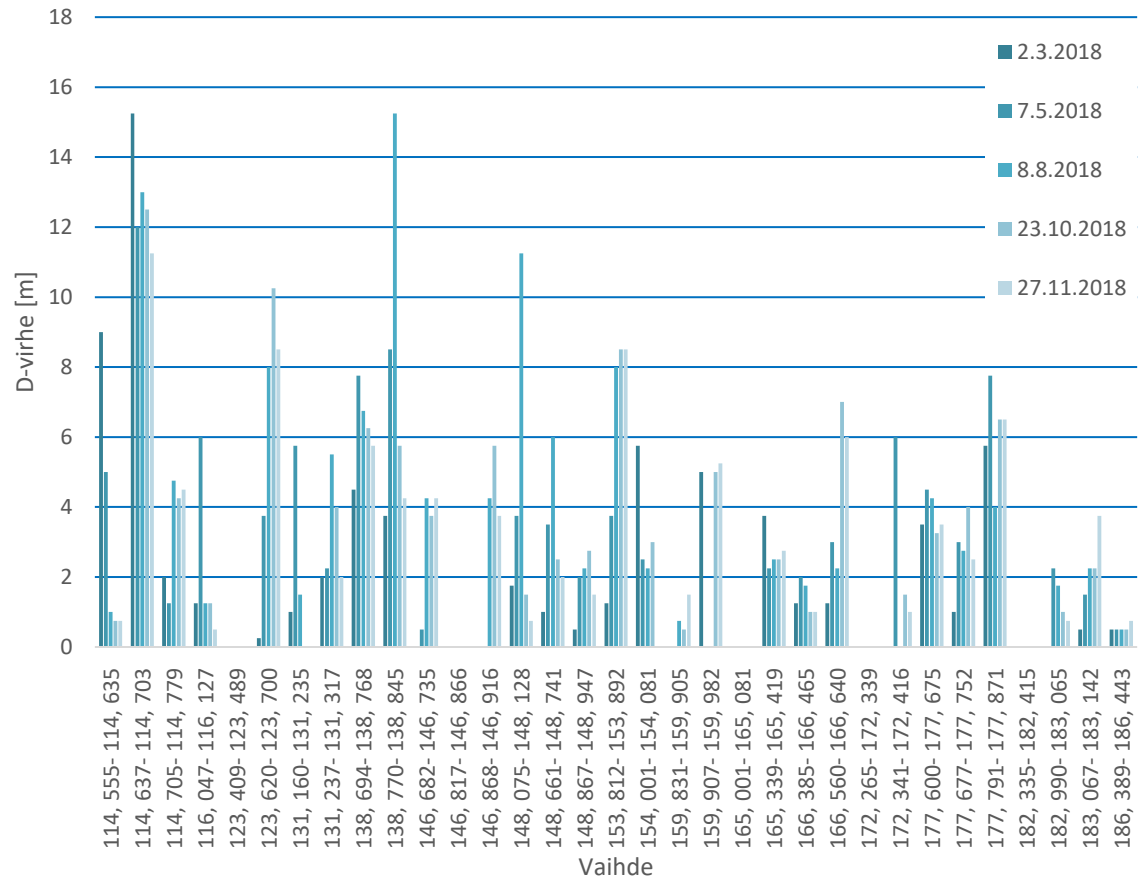
Kuva 19. Riihimäki-Tampere rataosuuden raiteen 1 vaihteiden virhemetrimäärät vuoden 2018 tehtyjen mittausten aikana (ratakilometrit 131-182)

Raiteen 2 ratakilometrien 72-108 väliin sijoittuvien vaihteiden kunto on huonompi, kuin samalle kilometrivälille sijoittuvien raiteen 1 vaihteiden kunto (kuva 20). Suurin virhemetrimäärä on ollut vaihteella 80,230–80,310, jonka suurin mitattu virhemetrimäärä on ollut 15 metriä. Otannan parhaassa kunnossa ollut vaihde on vaihde 107,802–107,877, jonka virhemetrimäärä kaikissa mittauksissa on ollut 0 metriä. Pääosin vaihteet ovat olleet vähintään tyydyttävässä kunnossa ja hyväkuntoisia vaihteita on useita.



Kuva 20. Riihimäki-Tampere rataosuuden raiteen 2 vaihteiden virhemetrimäärät vuoden 2018 tehtyjen mittausten aikana (ratakilometrit 72-108)

Raiteen 2 ratakilometrien 114–186 väliin sijoittuvien vaihteiden kunto on vaihteleva (kuva 21). Huonoimmassa kunnossa ovat olleet vaihteet 114,637–114,703 ja 138,770–138,845, joiden kummankin virhemetrimäärä on ollut suurimmillaan 15,25 metriä. Parhaassa kunnossa ovat olleet vaihteet 123,409–123,489, 146,817–146,866, 165,001–165,081, 172,265–172,339 ja 182,335–182,415, joiden kaikkien virhemetrimäärä on jokaisella mittauskerralla ollut 0 metriä.



Kuva 21. Riihimäki-Tampere rataosuuden raiteen 2 vaihteiden virhemetrimäärät vuoden 2018 tehtyjen mittausten aikana (ratakilometrit 114-186)

Useissa Riihimäki–Tampere välisen rataosuuden vaihdeyhteenvedoista tehdyissä kuvaajissa on nähtävissä ilmiö, jossa virheiden määrä kasvaa merkittävästi kahden mittauksen välissä. Virhemäärä kuitenkin laskee sen jälkeen seuraavaan mittaukseen mennessä. Tukemiskerrat ovat siis selkeästi nähtävissä.

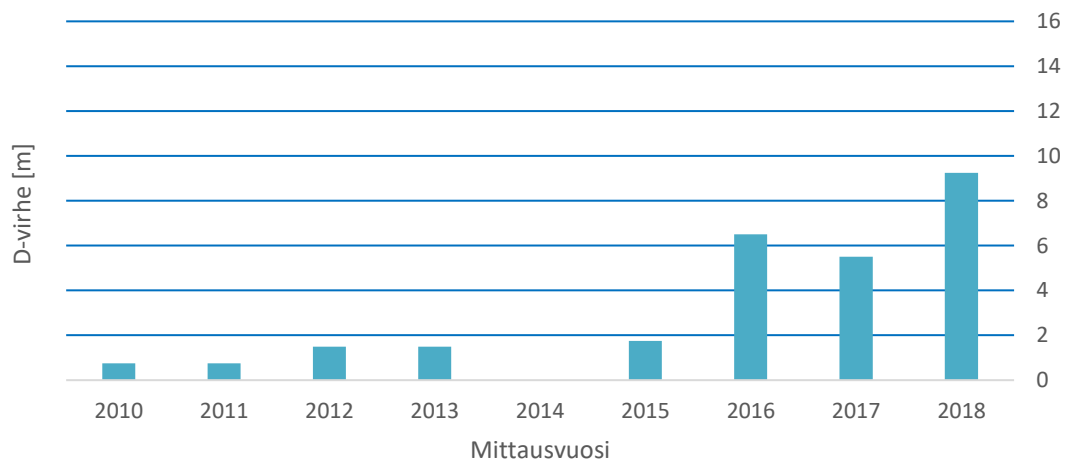
4.3 Pitkän aikavälin tarkastelu

Luvun 4.2 kuvaajista valittiin kolme vaihdetta, joiden virhemetrimääriä seurattiin pidemmällä aikavälillä. Jokaisesta valitusta vaihteesta tarkistettiin tarkastustulos vuoden välein kesäaikaan vuosilta 2010-2018. Vaihde 7,697–7,776 oli ympäröivistä vaihteista selkeästi heikkokuntoisin, ja sen 2018 mitattu maksimivirhemetrimäärä oli 15,25 m. Vaihde 3,837–3,885 on samasta otannasta, mutta erona 7,697–7,776:een se on säilynyt kiitettävässä kunnossa koko vuoden 2018 ajan. Myös vaihteen 107,864–107,944 virhemetrimäärä vuonna 2018 oli 0 m jokaisessa mittauksessa. Vaihteiden tarkastuspäivämäärät ja D–virheen metrimäärät on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Vaihteiden 7,697–7,776, 3,837–3,885 ja 107,864–107,944 tarkastustulokset aikaväliltä 2010–2018

| Tarkastuspäivämäärä | D-virhe [m] | | |
|---------------------|-------------|----------------|-----------------|
| | 7,697–7,776 | 3,837–3,885 | 107,864–107,944 |
| 13.6.2018 | 9,25 | 0 | 0 |
| 9.6.2017 | 5,5 | 0 | 0 |
| 10.6.2016 | 6,5 | 0 | 0 |
| 29.5.2015 | 1,75 | 0 | 0 |
| 5.6.2014 | 0 | 0 | 0 |
| 8.5.2013 | 1,5 | 0 | 0 |
| 1.6.2012 | 1,5 | 0 | 0 |
| 22.6.2011 | 0,75 | ei tarkastettu | 0 |
| 11.6.2010 | 0,75 | ei tarkastettu | 0 |

Vaihteen 7,697–7,776 kunto on säilynyt hyvänä vuoteen 2016 asti. Vuonna 2014 virhemetrimäärä on ollut 0 m, eli vaihde on tuettu ennen vuoden 2014 mittausta. Tukemisen jälkeen vuonna 2015 vaihde on ollut hyvässä kunnossa, mutta jo vuonna 2016 kunto on alkanut heikentymään. Virheiden kasvua on kuvattu kuvassa 22.

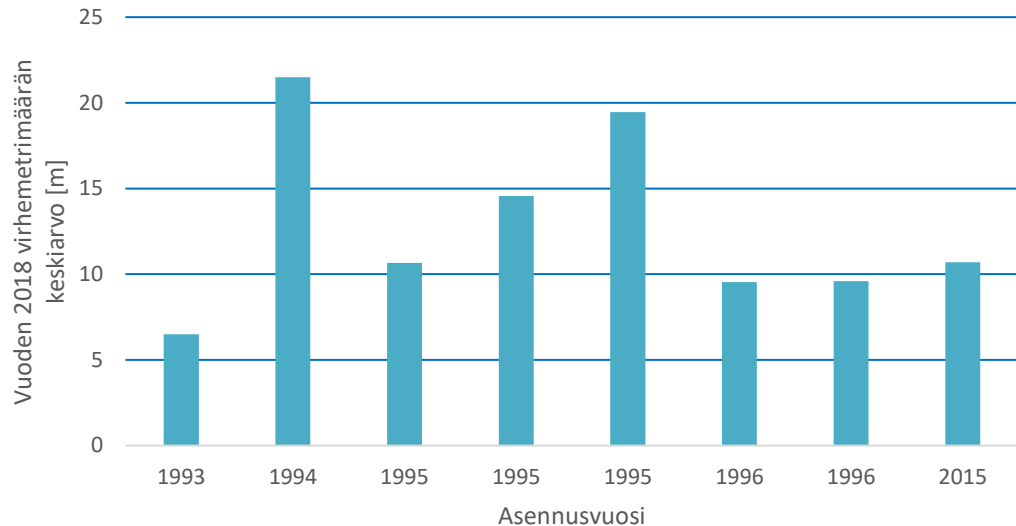


Kuva 22. Vaihteen 7,697–7,776 virhemetrimäärän kasvu vuoden välein mitattuna

Vaihteet 3,837–3,885 ja 107,864–107,944 muistuttivat tarkastelussa erittäin paljon toisiaan. Ainoana erona vaihteiden välillä oli vaihteen 3,837–3,885 puuttuvat mittaustulokset vuosina 2010–2011. Muilta osin tulokset olivat täysin samat kaikkien mittaustulosten ollessa 0 m.

4.4 Vaihteiden asennusvuoden vaikutus

Vaihdeotannasta valittiin satunnaisesti yhdeksän vaihdetta, joiden virhemetrimäärät olivat suuria. Näiden vaihteiden asennusvuosi selvitettiin vuoden 2018 vaihderekisteristä, ja siten tarkasteltiin, onko vaihteen iällä yhteyttä geometrisen kunnan heikkenemisen kanssa. Vaihteiden iät ja asennusvuodet on esitetty graafisesti kuvassa 23.



Kuva 23. Satunnaisesti valittujen vaihteiden keskimääräinen virhemetrimäärä vuonna 2018 ja vaihteiden asennusvuodet

Suurin osa vaihdeotantaan valikoituneista vaihteista on yli 23 vuotta vanhoja. Kuitenkin joukossa on yksi uusi vaihde, joka on uutuudestaan huolimatta heikossa kunnossa. Vastaavasti otannan vanhin vaihde on ollut vuosikeskiarvoltaan otannan hyväkuntoisin. Otannan vaihteet asennusvuosineen on esitetty kuvaajan mukaisessa järjestyksessä taulukossa 5.

Taulukko 5. Tarkasteluun valitut vaihteet asennusvuosineen kuvan 23 mukaisessa järjestyksessä

| Asennusvuosi | 1993 | 1994 | 1995 | 1995 | 1995 | 1996 | 2015 |
|--------------|-----------------|-------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------------|---------------------|
| Vaihde | 7,920– 7,991 | 16,324– 16,399 | 114,637– 114,703 | 31,254– 31,327 | 57,945– 58,0882 | 7,697– 7,776 | 138,624– 138,704 |

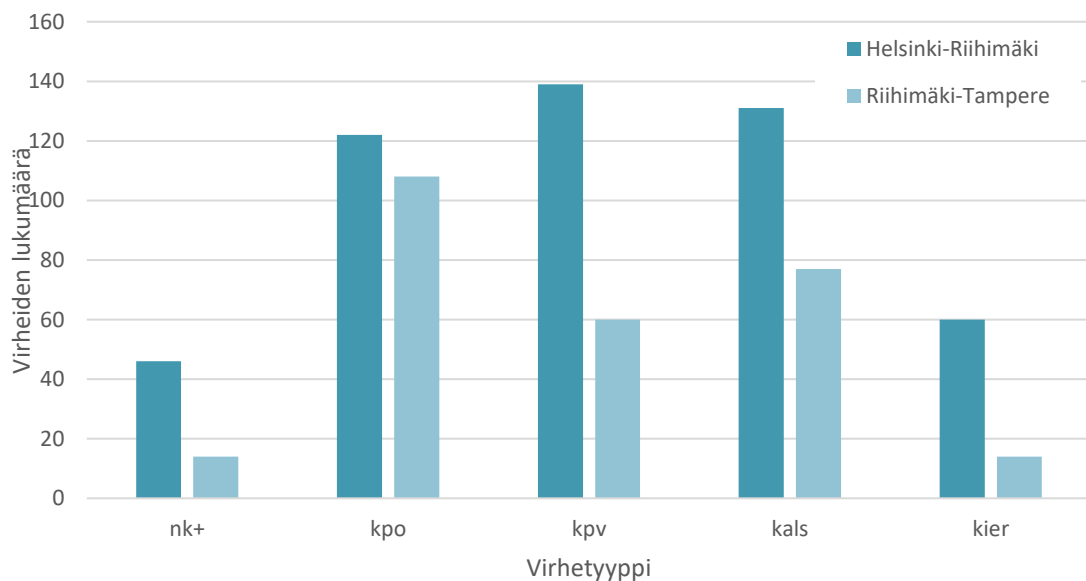
4.5 Kunnossapitoalueiden väliset eroavaisuudet

Tarkastelualue jakautuu kahteen eri kunnossapitoalueeseen: Helsinki–Riihimäki välinen rataosuus kuuluu kunnossapitoalue 1:een (Uusimaa) ja Riihimäki–Tampere välinen rataosuus kunnossapitoalue 3:een (Riihimäki–Kokkola). Kummankin kunnossapitoalueen rataosuuden virhejakaumaa tarkasteltiin. Tulokset taulukoitu taulukkoon 6.

Taulukko 6. Helsinki–Riihimäki ja Riihimäki–Tampere välisten rataosuuksien virhemäärät

| | Helsinki–Riihimäki | Riihimäki–Tampere |
|--|--------------------|-------------------|
| Vaihteiden lukumäärä | 108 | 98 |
| Mitattujen virhetyyppien lukumäärä | | |
| Korkeuspoikkeama, oikea kisko (KPO) | 122 | 108 |
| Korkeuspoikkeama, vasen kisko (KPV) | 139 | 60 |
| Kallistus (kals) | 131 | 77 |
| Nuolikorkeus (nk+) | 46 | 14 |
| Kierous (kier) | 60 | 14 |

Vaikka vaihteiden lukumäärä kummallakin osalla on lähes sama, on virhemäärissä merkittäviä eroavaisuuksia. Riihimäki–Tampere välillä virheitä oli huomattavasti vähemmän kuin Helsinki–Riihimäki välillä. Tulokset on esitetty graafisesti kuvassa 24.



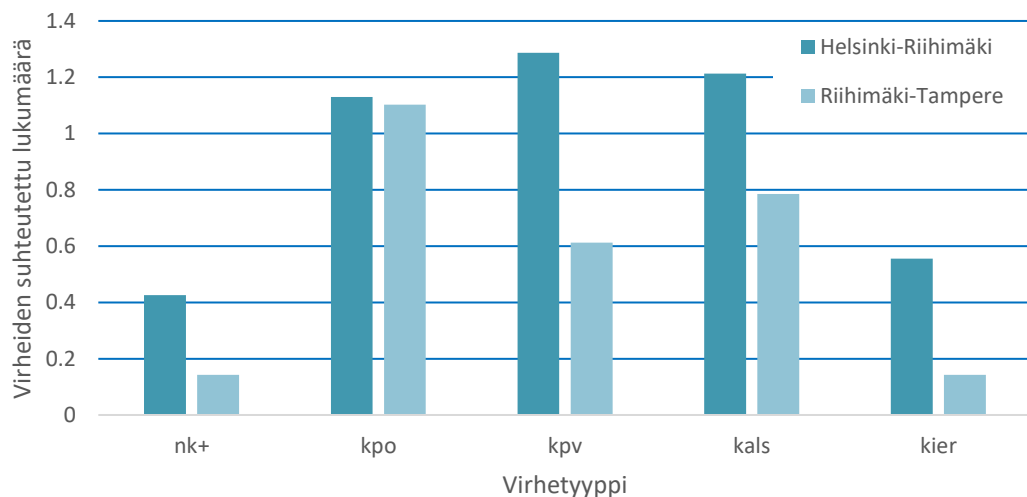
Kuva 24. Geometriavirhetyyppien lukumäärien eroavaisuudet kunnossapitoalueen 1 (Helsinki–Riihimäki) ja 3 (Riihimäki–Tampere) vaihteissa

Koska vaihteiden määrät rataosuuksilla erosivat toisistaan, suhteutettiin virhemäärät tarkempaa tarkastelua varten jakamalla virheiden lukumäärä vaihteiden lukumäärällä. Suhteutetut virhemäärät on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Helsinki–Riihimäki ja Riihimäki–Tampere välisten rataosuuksien suhteutetut virhemäärät

| | Helsinki–Riihimäki | Riihimäki–Tampere |
|--|--------------------|-------------------|
| Nuolikorkeus (nk+) | 0,43 | 0,14 |
| Korkeuspoikkeama, oikea kisko (KPO) | 1,13 | 1,10 |
| Korkeuspoikkeama, vasen kisko (KPV) | 1,29 | 0,61 |
| Kallistus (kals) | 1,22 | 0,79 |
| Kierous (kier) | 0,56 | 0,14 |

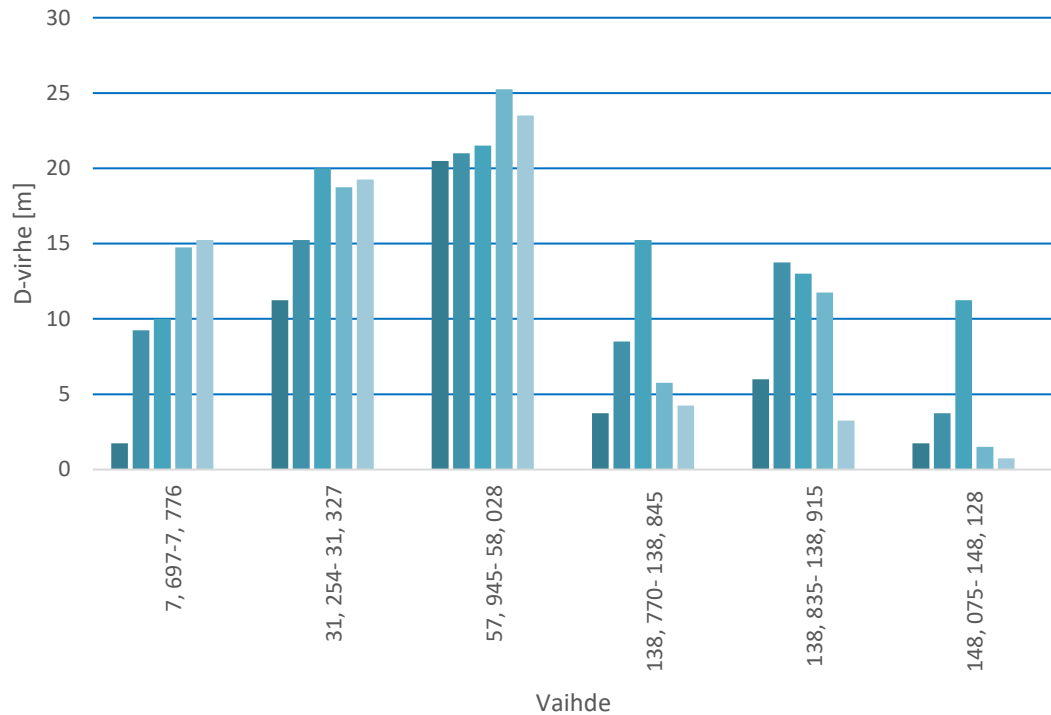
Suhteutettuja lukumääriä tarkastellessa voidaan huomata, että vasemman kiskon korkeuspoikkeama on esiintynyt suhteessa lähes saman verran kummallakin kunnossapitoalueella. Muita virheitä on Helsinki–Riihimäki välisen rataosuuden vaihteissa ollut selvästi enemmän (kuva 25). Virheiden yleisyyksissä on myös pieniä eroja rataosuuksien välillä.



Kuva 25 Geometriavirhetyyppien vaihteiden lukumäärään suhteutettujen lukumäärien eroavaisuudet kunnossapitoalueen 1 (Helsinki–Riihimäki) ja 3 (Riihimäki – Tampere) vaihteissa

Kunnossapitoalueittain on myös eroja virheiden kasvunopeuden ja virheisiin reagoinnin kanssa. Rataosakohtaisia vaihdeyhteenvetokuvaajia tarkastellessa huomattiin, että saman kunnossapitoalueen sisäiset kuvaajat muistuttivat paljon toisiaan, ja samat ilmiöt esiintyivät

toistuvasti. Näiden ilmiöiden tarkempaa tarkastelua varten valittiin kummaltakin kunnossapitoalueelta kolme huonokuntoista vaihdetta ja laitettiin niiden vuoden 2018 mittaustulokset samaan kuvaan (kuva 26).



Kuva 26. Kunnossapitoalueiden 1 ja 3 vaihteiden virhemetrimääräjakaumia

Vaihteiden virhemääräkuvaajia verratessa kunnossapitoalueiden väliset eroavaisuudet ovat selkeästi nähtävissä. Vaihteiden 138,770–138,845, 138,835–138,915 ja 148,075–148,128 virhemetrimäärät ovat kasvaneet nopeammin ja niihin on etenkin vaihteiden 138,770–138,845 ja 148,075–148,128 tapauksessa reagoitu nopeasti. Vaihteiden 7,697–7,776, 31,254–31,327 ja 57,945–58,028 virheiden kehittyminen on tasaisempaa, mutta virheisiin reagointi on hitaampaa.

Tulosten perusteella voidaan todeta kunnossapitoalue 3:en vaihteissa olevan vähemmän virheitä kuin kunnossapitoalue 1:en vaihteissa. Kunnossapitoalue 3:en vaihteiden virheet kehittyvät nopeammin, mutta niihin myös reagoidaan nopeammin.

5. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Koko tarkastelualueen virhejakauman tarkastelun perusteella voidaan todeta, että Helsinki–Tampere välisen rataosuuden rautatievaihteiden yleisin virhetyyppi vuonna 2018 on ollut korkeuspoikkeama, jonka osuus kummaltakin kiskolta mitattuna on ollut noin 50 % kokonaisvirhemäärästä. Vähiten on esiintynyt kieroutta, jonka osuus kaikista virheistä on ollut alle 10 %. Vaihdeyhteenvetojen datasta piirrettyjen kuvaajien perusteella voidaan todeta geometriavirheiden kehittyvän nopeasti vaihteissa, joissa virheitä on jo havaittu. Vaihteet, joissa ei ole virheitä säilyvät jatkossakin suurella todennäköisyydellä hyvässä kunnossa. Toiset vaihteet ovat selvästi alttiimpia virheille kuin toiset, ja useat vaihteet säilyivät tarkasteluajan täysin virheettöminä.

Vaihteiden tarkastelu pitkällä aikavälillä tuki aiempia päätelmiä virheiden kehittymisestä. Mielenkiintoista tässä tarkastelussa oli se, että vaihteen 7,697–7,776 kunto alkoi selkeästi heikentymään tukemisen jälkeen. Muut tarkasteltavat vaihteet olivat virheettömiä kaikissa pidemmän havaintojakson mittauksissa.

Vaihteiden asennusvuoden ja virhemäärien välillä ei ole havaittavissa selkeää korrelaatiota. Useat tarkasteluun valitut, huonokuntoiset vaihteet ovat kuitenkin yli 24 vuotta vanhoja. Mukana kuitenkin oli yksi uudempi, 2015 asennettu vaihde. Huomioitavaa on myös se, että otannan vanhin vaihde oli vuosikeskiarvoltaan parhaassa kunnossa.

Kokonaisvirhemäärien tarkasteltaessa huomattiin, että vaihteiden virhetyyppien määrä ja jakauma ovat erilaisia kunnossapitoalueittain. Kunnossapitoalue 1:n vaihteissa oli suhteessa enemmän virheitä kuin kunnossapitoalue 3:n vaihteissa. Kunnossapitoalueen 1:n vaihteissa oli selvästi enemmän kaikkia muita virhetyyppejä paitsi KPO-virhettä, jota esiintyi molemmilla kunnossapitoalueilla likimain yhtä paljon. Lisäksi eroavaisuuksia todettiin virheiden kasvunopeuden sekä virheisiin reagoinnin välillä. Kunnossapitoalue 3:n vaihteiden virhemetrimäärät kasvavat nopeammin kuin kunnossapitoalueella 1. Virheisiin kuitenkin myös reagoidaan nopeammin tukemistoimenpiteillä, kuin kunnossapitoalueella 1.

Useissa Helsinki–Riihimäki välisen rataosuuden kuvaajissa toistui heikkokuntoisten vaihteiden merkittävä virhemetrimäärä jokaisessa vuoden aikana tehdyssä mittauksessa. Vaihteiden kunto heikkeni mittausten välillä virheiden suuruudesta huolimatta, minkä perusteella voidaan epäillä, että vaihteita ei ole tuettu ollenkaan. Toinen mahdollinen vaihtoehto on se, että vaihteita on tuettu mutta tuenta ei vaikuta enää vaihteen kuntoon tai vaihde ehtii palautua huonokuntoiseksi mittauskertojen välillä. Mahdollinen syy tähän voi olla raidesepelin hienoneminen. Peltokankaan ja Nurmikolun tekemän selvityksen (2015, s. 10) mukaan merkittävimpiä raidesepelin hienonemiseen vaikuttavia tekijöitä ovat liikennekuormitus sekä tukeminen. Mahdollinen tukemisen geometriaa heikentävä vaikutus nousi esille myös pitkän aikavälin tarkastelussa. Vaihteen 7,697–7,776 kunto oli tarkastelussa säilynyt hyvänä neljän vuoden ajan, jonka jälkeen

vaihte oli tuettu. Tukemisen jälkeen vaihteen kunto alkoi heikkenemään ja vuoden 2018 mittauksissa virhemetrimäärä oli korkeimmillaan 15 m.

Työn aiheesta olisi mahdollista tehdä jatkotutkimus, jossa perehdyttäisiin siihen miksi saadut tulokset ovat sellaisia kuin ne ovat. Lisäksi olisi mielenkiintoista tietää, pätevätkö tämän työn tulokset kaikille nopeille rataosuuksille. Jatkotutkimusten avulla pystyttäisiin mahdollisesti tunnistamaan keskeisiä virheille altistavia tekijöitä ja siten tarvittaessa kehittämään kunnossapitoa tehokkaammaksi ja taloudellisemmaksi.

LÄHTEET

Leimi, P (1994). Koneellisen raiteentarkastuksen käyttö radan routivien osuuksien kartoittamisessa. Diplomityö. Oulun yliopisto. Oulu.

Liikennevirasto (2013). Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 14, Vaihteiden tarkastus ja kunnossapito. Helsinki. Liikenneviraston ohjeita 7/2013.

Liikennevirasto (2014a). Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3, Radan rakenne. Helsinki. Liikenneviraston ohjeita 17/2014.

Liikennevirasto (2014b) Rautateiden verkkoselostus 2016. Liikenneviraston väylätietoja 3/2014.

Liikennevirasto (2018). Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 1, Yleiset perusteet. Helsinki. Liikenneviraston ohjeita 31/2018.

Meriläinen, A (2009). Nopean junaliikenteen kehittämisen vaikutukset. Kirjallisuusselvitys. Helsinki. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 5/2009.

Peltokangas, O & Nurmikolu, A (2015). Raidegeometrian kunnossapito tukemalla ja tukemiskalusto Suomen rataverkolla. Helsinki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 23/2015.

Peltokangas, O, Nurmikolu, A & Luomala, H (2013). Radan pystysuuntainen jäykkyys ja sen mittaaminen. Helsinki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 6/2013.

Pesonen, A (2016). Radan epätasaisuuksien vaikutus kaluston kokemiin värähtelyihin. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Ratahallintokeskus (2004). Ratatekniset ohjeet (RAMO) osa 14, Radan tarkastus. Helsinki.

Ratahallintokeskus (2005). Raiteentarkastustulokset ja niiden tulkinta. 1–2005.

Ratahallintokeskus (2006a). Ratatekniset ohjeet (RAMO), osa 13, Radan tarkastus. Helsinki.

Ratahallintokeskus (2006b). Rautatieliikenne 2030–suunnitelman lähtökohdat ja vaikutustarkastelut. Helsinki, Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 7/2006. s. 33

Salokangas, A (2008). Rautateiden liikkuvan kaluston kunnan valvonta runkoverkolla. Helsinki. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 3/2008.

SFS-EN 13848–1 (2019). Railway applications. Track. Track geometry quality. Part 1: Characterization of track geometry. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto.

Wikipedia (2018, päivitetty 7.1.2018). Ttr1 51. Verkkosivu saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/Ttr1_51 Viitattu: 20.10.2019

Väylävirasto (2019a, päivitetty 2.5.2019). Rataverkko. Verkkosivu saatavissa:
<https://vayla.fi/rataverkko#.XYtwAygZy2w> Viitattu: 25.9.2019

Väylävirasto (2019b). Rautateiden verkkoselostus 2019. Helsinki, Liikenneviraston
väylätietoja 2/2017.